

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006年3月23日 (23.03.2006)

PCT

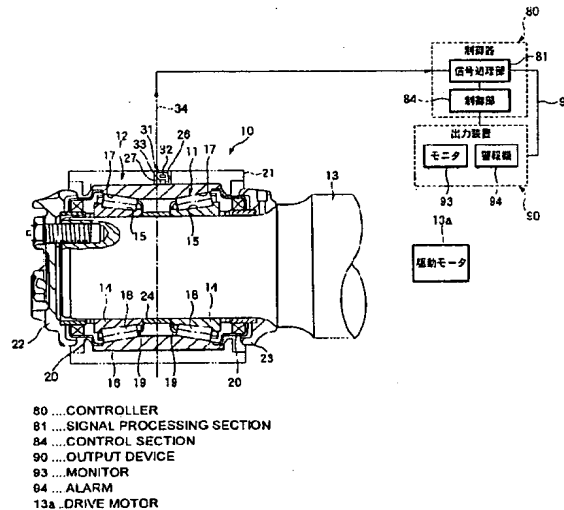
(10) 国際公開番号
WO 2006/030786 A1

- (51) 国際特許分類:
G01M 19/00 (2006.01) G01H 17/00 (2006.01)
G01M 13/04 (2006.01) F16C 19/52 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/016845
- (22) 国際出願日: 2005年9月13日 (13.09.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-265009 2004年9月13日 (13.09.2004) JP
特願2004-265219 2004年9月13日 (13.09.2004) JP
特願2005-004128 2005年1月11日 (11.01.2005) JP
特願2005-018338 2005年1月26日 (26.01.2005) JP
特願2005-018339 2005年1月26日 (26.01.2005) JP
特願2005-018340 2005年1月26日 (26.01.2005) JP
特願2005-168204 2005年6月8日 (08.06.2005) JP
- 特願2005-176505 2005年6月16日 (16.06.2005) JP
特願2005-176507 2005年6月16日 (16.06.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本精工株式会社 (NSK LTD.) [JP/JP]; 〒1418560 東京都品川区大崎一丁目6番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 宮坂 孝範 (MIYASAKA, Takanori). 武藤 泰之 (MUTOH, Yasushi) [JP/—]. 佐原 淳太郎 (SAHARA, Juntaro).
- (74) 代理人: 小栗 昌平, 外 (OGURI, Shohei et al.); 〒1076013 東京都港区赤坂一丁目12番32号アーク森ビル13階 栄光特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR,

[続葉有]

(54) Title: ABNORMALITY DIAGNOSIS DEVICE AND ABNORMALITY DIAGNOSIS METHOD

(54) 発明の名称: 異常診断装置及び異常診断方法



(57) Abstract: An abnormality diagnosis device used for a machine apparatus having a part rotating and sliding relative to a stationary member is provided with a detection section (31) and a signal processing section (81). The detection section (31) is fixed to the part rotating or sliding or to the stationary member and has a vibration sensor (32) and a temperature sensor (33). The signal processing section (81) determines the condition of the part based on a signal detected and outputted by the detection section (31). The signal processing section (81) determines whether there is an abnormality in the part, or whether there is an abnormality in the part and the degree of damage of the part.

(57) 要約: 静止部材に対して相対的に回転或いは摺動する部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置は、回転或いは摺動する部品又は静止部材に固定され、振動センサ32と温度センサ33とを有する検出部31と、検出部31の出力した検出信号から部品の状態を判定する信号処理部81と、を備える。信号処理部81は、振動センサ32による計測結果と温度センサ33による計測結果との組み合わせに基づいて、部品の異常の有無、或いは異常

[続葉有]



HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG):

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

異常診断装置及び異常診断方法

技術分野

- [0001] 本発明は、例えば、鉄道車両の車軸やギアボックス或いは発電用風車の減速機のような、機械設備に用いられる回転或いは摺動する部品の異常診断装置及び異常診断方法に関し、特に、該部品の異常の有無や前兆、或いはその異常部位を特定する異常診断装置及び異常診断方法に関する。

背景技術

- [0002] 従来、鉄道車両や発電用風車等の回転部品は、一定期間使用した後に、軸受やその他の回転部品について、損傷や摩耗等の異常の有無が定期的に検査される。この定期的な検査は、回転部品が組み込まれた機械設備を分解することにより行われ、回転部品に発生した損傷や摩耗は、担当者の目視による検査により発見するようにしている。そして、検査で発見される主な欠陥としては、軸受の場合、異物の噛み込み等によって生ずる圧痕、転がり疲れによる剥離、その他の摩耗等、歯車の場合には、歯部の欠損や摩耗等、車輪の場合には、フラット等の摩耗があり、いずれの場合も新品にはない凹凸や摩耗等が発見されれば、新品に交換される。
- [0003] しかしながら、上記機械設備全体を分解して、担当者が目視で検査する方法では、装置から回転部品や摺動部品を取り外す分解作業や、検査済みの回転部品や摺動部品を再度装置に組込み直す組込み作業に多大な労力がかかり、装置の保守コストに大幅な増大を招くという問題があった。
- [0004] また、組立て直す際に検査前にはなかった打痕を回転部品や摺動部品につけてしまう等、検査自体が回転部品や摺動部品の欠陥を生む原因となる可能性があった。また、限られた時間内で多数の軸受を目視で検査する場合、欠陥を見落とす可能性が残るという問題もあった。さらに、この欠陥の程度の判断も個人差があり実質的には欠陥がなくても部品交換が行われるため、無駄なコストがかかることにもなる。
- [0005] そこで、回転部品が組み込まれた機械設備を分解することなく、実稼動状態で回転部品の異常診断を行う様々な方法が提案されている(例えば、特許文献1～7参照。

)。最も一般的なものとしては、特許文献1に記載されるように、軸受部に加速度計を設置し、軸受部の振動加速度を計測し、更に、この信号にFFT(高速フーリエ変換)処理を行って振動発生周波数成分の信号を抽出して診断を行う方法が知られている。

[0006] 特許文献2に記載の装置では、鉄道車両において軸受箱に温度センサを装着し、検出温度が基準値以上に上昇した時に異常信号を運転台に発するか、又は地上側から温度を計測して軸受の異常監視を行っている。また、特許文献3に記載の装置では、一般の機械設備において、軸受の状態を振動または温度センサで常時監視し、各値が基準値以上に上昇した場合に、異常警報を出力したり、装置の稼動を停止させたりする。

[0007] また、鉄道車両の車輪の転動面において、ブレーキの誤動作などによる車輪のロックや滑走によるレールとの摩擦・摩耗によって生じるフラットと呼ぶ平坦部の検出方法としても種々提案されている(例えば、特許文献8～12参照。)。特許文献8では、振動センサや回転測定装置等により鉄道車両車輪、及び列車が通過する線路の欠陥状態を検出する装置について提案している。

特許文献1:特開2002-22617号公報

特許文献2:特開平9-79915号公報

特許文献3:特開平11-125244号公報

特許文献4:特開2003-202276号公報

特許文献5:欧州特許出願公開第1338873号明細書(特許文献4の対応欧州特許出願公開公報)

特許文献6:特開2004-257836号公報

特許文献7:欧州特許出願公開第1548419号明細書(特許文献6の対応欧州特許出願公開公報)

特許文献8:特表平9-500452号公報

特許文献9:米国特許第5433111号明細書(特許文献8の対応米国特許公報)

特許文献10:特開平4-148839号公報

特許文献11:特表2003-535755号公報

特許文献12:国際公開第01/94175号パンフレット(特許文献11の対応国際出願
公開公報)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0008] ところで、特許文献3に記載の装置では、温度センサ及び振動センサのうちの何れか一方のセンサしか設置されていないため、異常が検知された場合には既に回転部品の損傷の程度が酷くなっているため継続して使用することが不可能なことが多く、機械設備を緊急に停止させなければならないという問題がある。この問題は、軸受の温度が基準値以上に上昇したか否かで異常の有無を判定している特許文献2に記載の装置でも同様である。
- [0009] 具体的に、特許文献3に記載の装置では、温度センサ及び振動センサのうちの何れか一方のセンサによる信号に基づき回転部品の異常の有無を判定するため、例えば、軸受の焼付き異常の場合、温度上昇を起こして過熱する前に異常を捉えることが困難であり、また、突発的な外乱ノイズ等の影響で誤動作が生じて異常警報を発したりする等、安定稼動が妨げられるという問題がある。加えて、この装置では、異常警報が発せられて機械設備の稼動が停止しても、異常の部位の特定をすることができないという問題がある。
- [0010] また、特許文献3に記載の装置では、回転部品が組み込まれる装置には該回転部品に回転駆動力を伝達するためのモータ等の回転駆動手段が装着されている。このため、モータ駆動時に電磁音等の電氣的な外乱ノイズが突発的に発生して、異常診断に対するSN比(信号対雑音比)が悪くなり、誤診断により異常警報を発する等、安定稼動が妨げられるという問題がある。
- [0011] 回転部品が組み込まれる装置は、使用される回転速度も低速から高速まで幅広い領域で使用されることが多い。例えば、鉄道車両の車軸用軸受においては、輪軸試験などで定期的に低速回転で検査することがある。この場合、軸受が組み込まれるハウジングの剛性が高いため、例えば、軸受の軌道面に損傷があっても、その損傷の上をころ等の転動体が通過することによる衝突力が小さく、軸受の損傷を見逃してしまう可能性がある。一方、高速の場合には回転駆動手段などからの音や振動等が

大きくなるため異常診断に対するSN比が悪くなり、低速時と同様に軸受の損傷を見逃してしまう可能性がある。

- [0012] また、特許文献1に記載の異常診断方法でも、判断基準値の設定の仕方によってはノイズ等の影響で診断精度が悪くなり、誤診断により異常警報を発する等、安定稼動が妨げられる問題がある。
- [0013] さらに、特許文献1に記載の異常診断方法では、回転速度に基づき振動発生周波数成分を算出しているが、実際の回転速度を直接取り込むことができない場合に、算出に用いた回転速度データが実際の回転速度とずれを生じていると、診断精度が悪くなるという問題がある。
- [0014] また、回転部品として多数の軸受を使用している機械設備では、軸受の内外径、幅寸法が同じであれば、内部の設計寸法諸元が異なっても使用することがある。この場合、軸受の設計寸法諸元が異なると軸受の異常診断に使用される設定値も異なり、診断が複雑になる。このため、特定の部位に同じ設計寸法諸元の部品を組み込むようにすることもあり、組み立て時の作業効率が悪くなるという問題がある。
- [0015] さらに、上述したような異常診断方法では、診断結果が大量に蓄積されることになり、この大量の診断結果に基づいてレポートを作成することは過度の負担となる。
- [0016] また、特許文献8に記載の欠陥状態の検出装置では、鉄道車両で異常振動を示す欠陥状態が車輪のフラットによるものか、車軸軸受によるものか、あるいは線路又は他の異常によるものなのかを識別できないという問題がある。
- [0017] 本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであり、その目的は回転或いは摺動する部品が組み込まれている機械設備を分解することなく実稼動状態で、診断精度を確保しながら回転或いは摺動する部品の異常を診断する異常診断装置及び異常診断方法を提供することにある。
- [0018] 特に、本発明の第1の目的は、回転或いは摺動する部品が組み込まれている機械設備を分解することなく実稼動状態で部品の異常の有無と損傷の程度を同時に診断することができると共に、突発的な外乱ノイズ等の影響による誤診断を防止して高SN比で信頼性の高い異常診断を行うことができる異常診断装置を提供することにある。
- [0019] 本発明の第2の目的は、実際の回転速度を直接取り込むことができない場合でも、

診断精度を確保しつつ、異常の有無や異常の部位を特定することができる異常診断装置及び異常診断方法を提供することにある。

本発明の第3の目的は、設計寸法諸元が互いに異なる複数の回転部品が任意の部位に組み込まれても異常の有無や異常の部位を特定することができる異常診断装置を提供することにある。

[0020] 本発明の第4の目的は、診断結果のレポート作成の負担を軽減することができる異常診断装置及び異常診断方法を提供することにある。

[0021] 本発明の第5の目的は、鉄道車両における車輪のフラット等の部品の異常が発生している状態を正確に検出して、その車輪を特定することができる異常診断装置及び異常診断方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0022] 本発明の目的は、下記の構成により達成される。

(1) 静止部材に対して相対的に回転或いは摺動する部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、

回転或いは摺動する部品又は静止部材に固定され、振動センサ、音響センサ、超音波センサ及びAEセンサの少なくとも一つの振動系センサと温度センサとを有する検出部と、

検出部の出力した電気信号から部品の状態を判定する信号処理部と、を備え、

信号処理部は、振動系センサによる計測結果と温度センサによる計測結果との組み合わせに基づいて、部品の異常の有無、或いは異常の有無及び損傷の程度を判定することを特徴とする異常診断装置。

(2) 振動系センサ及び温度センサによる計測値又は計測値の時間に対する変化率が少なくとも一回求められ、

信号処理部は、計測値又は変化率と予め設定しておいた各規定値とを比較することにより、部品の異常の有無、或いは異常の有無及び損傷の程度を判定する異常判定部を有することを特徴とする(1)に記載の異常診断装置。

(3) 静止部材に対して相対的に回転或いは摺動する部品を備えた機械設備に用

いられる異常診断装置であって、

回転或いは摺動する部品を駆動する駆動装置と、

部品又は静止部材に固定され、振動センサ、音響センサ、超音波センサ及びAEセンサの少なくとも一つの振動系センサと温度センサの少なくとも一つを有する検出部と、

駆動装置の非通電時における部品の所定の速度領域内での慣性移動時に、検出部による振動又は温度の検出信号に基づいて部品の異常を診断することを特徴とする異常診断装置。

(4) 静止部材に対して相対的に回転する部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、

部品を回転駆動する駆動装置と、

部品又は静止部材に固定され、振動センサ、音響センサ、超音波センサ及びAEセンサの少なくとも一つの振動系センサと温度センサの少なくとも一つを有する検出部とを備え、

部品が 100min^{-1} 以上 1500min^{-1} 以下の回転速度領域内で回転する時、検出部による振動又は温度の検出信号に基づいて部品の異常を診断することを特徴とする異常診断装置。

(5) 駆動装置の非通電時における部品の回転速度領域内での慣性回転時に、検出部による振動又は温度の検出信号に基づいて部品の異常を診断することを特徴とする(4)に記載の異常診断装置。

(6) 駆動装置は通電及び非通電を繰り返して用いられると共に、駆動装置の非通電時に部品が慣性移動可能であることを特徴とする(3)又は(5)に記載の異常診断装置。

(7) 駆動装置の非通電時の部品の慣性移動状態を駆動装置のOFF信号に基づいて検出することを特徴とする(3)、(5)及び(6)のいずれかに記載の異常診断装置。

(8) 駆動装置の回転速度を検出する回転速度センサを備え、回転速度センサによる回転速度の検出信号とセンサによる振動又は温度の検出信号とを連動して部品

の異常を診断することを特徴とする(3)～(7)のいずれかに記載の異常診断装置。

(9) 信号処理部は、回転速度信号に基づき算出した部品の損傷に起因した周波数成分と振動系センサにより検出された信号に基づく実測データの周波数成分とを比較する比較照合部と、比較照合部での比較結果に基づき、部品の異常の有無の判定や損傷部位を特定する異常判定部とを備えていることを特徴とする(1)～(8)のいずれかに記載の異常診断装置。

(10) 信号処理部は、振動系センサにより検出された信号波形から不要な周波数帯域を除去するフィルタ処理部と、フィルタ処理部から転送されたフィルタ処理後の波形の絶対値を検波するエンベロープ処理部と、エンベロープ処理部から転送された波形の周波数を分析する周波数分析部と、を備えていることを特徴とする(9)に記載の異常診断装置。

(11) 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、

機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
電気信号の波形の周波数分析を行い、周波数分析で得られたスペクトルに基づき算出した基準値より大きい該スペクトルのピークを抽出し、ピーク間の周波数と回転速度信号或いは移動速度信号に基づき算出した部品の損傷に起因する周波数成分とを比較照合し、その照合結果に基づき部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、
を備えたことを特徴とする異常診断装置。

(12) 信号処理部は、検出された信号に増幅処理とフィルタ処理の少なくとも一方を施し、その処理された波形にエンベロープ処理を行うことを特徴とする(11)に記載の異常診断装置。

(13) 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、

機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
電気信号の単位時間当たりの波形が閾値を越えた衝撃波の頻度と、回転速度信号或いは移動速度信号に基づき、部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号

処理部と、

を備えたことを特徴とする異常診断装置。

(14) 信号処理部は、電気信号の波形をフィルタ処理し、全波整流波形に変換した波形に対して、閾値を越えるたびに、回転速度信号に応じた所定の時間、閾値を越える値に保持するように変換した波形を構成し、波形が所定の回転数あたりに閾値を越える回数によって部品に異常を生じた可能性を知らせることを特徴とする(13)に記載の異常診断装置。

(15) 信号処理部は、閾値を保持するように変換した波形が所定の回転数あたりに閾値を越える回数によって部品に異常を生じた可能性の真偽を、複数回の統計的判断で判断することを特徴とする(14)に記載の異常診断装置。

(16) 信号処理部は、部品の回転速度が略一定の場合に実行されることを特徴とする(11)～(15)のいずれかに記載の異常診断装置。

(17) 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、

機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
電気信号の波形の周波数分析を行い、周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と部品に起因した周波数成分とを可変な許容幅を持って比較照合し、その照合結果に基づき部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、
を備えることを特徴とする異常診断装置。

(18) 回転部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、
機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
電気信号の波形の周波数分析を行い、周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と回転部品に起因した周波数成分とを許容幅を持って比較照合し、その照合結果に基づき回転部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、

を備える異常診断装置であって、

許容幅は、回転部品の回転速度と回転部品の設計寸法諸元とから算出される上限

値と下限値を有する領域を少なくとも一つの領域に分割し、各分割領域の中心値を求め、中心値に対して与えられる任意の大きさの少なくとも一つの許容幅であり、

信号処理部は、実測スペクトルデータの周波数成分と回転部品に起因した周波数成分とを、少なくとも一つの許容幅毎に比較照合することを特徴とする異常診断装置

。

(19) 許容幅は、回転部品が互いに異なる設計寸法諸元を有する複数の回転部品を備える場合と、回転部品の回転速度が変動した場合の少なくとも一方において、与えられることを特徴とする(18)に記載の異常診断装置。

(20) 許容幅は、周波数成分が高調波成分となるにつれて大きくなることを特徴とする(17)～(19)のいずれかに記載の異常診断装置。

(21) 許容幅は、周波数成分の周波数帯域に応じて増減することを特徴とする(17)から(20)のいずれかに記載の異常診断装置。

(22) 許容幅は、回転速度に応じて増減することを特徴とする(17)または(18)に記載の異常診断装置。

(23) 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、

機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
電気信号の波形の周波数分析を行い、周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と前記部品に起因した周波数成分とを比較照合し、その照合結果に基づき部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、を備え、

比較照合に用いられる基準値は、実測スペクトルデータの限定した周波数範囲に基づいて算出されることを特徴とする異常診断装置。

(24) 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、

機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
電気信号の波形の周波数分析を行い、周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と部品に起因した周波数成分とを比較照合し、その照合結果に基づき部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、

信号処理部にて診断された診断結果を記憶する記憶部と、
診断結果を所定の形式で出力する出力部と、
出力部によって出力される出力結果を、少なくとも一つのプログラムに基づいてレポートを作成するレポート作成部と、
を備えることを特徴とする異常診断装置。

(25) 検出部は、機械設備から発生する振動を検出するセンサに加えて、機械設備の温度を検出する温度センサと回転部品の回転速度を検出する回転速度センサとの少なくとも一方が単一の筐体内に収容される一体型センサを有していることを特徴とする(11)～(24)のいずれかに記載の異常診断装置。

(26) 機械設備は、回転部品である軸受及び該軸受を固定する軸受箱を備え、一体型センサは、軸受箱の平坦部に固定されることを特徴とする(25)に記載の異常診断装置。

(27) 信号処理部による判定結果を伝送するデータ伝送手段を有することを特徴とする(1)～(26)のいずれかに記載の異常診断装置。

(28) 信号処理部による処理、及び判定結果を制御系に出力する処理を行なうマイクロコンピュータを具備したことを特徴とする(1)～(27)のいずれかに記載の異常診断装置。

(29) 機械設備は鉄道車両用軸受装置であることを特徴とする(1)～(28)のいずれかに記載の異常診断装置。

(30) 機械設備は風車用軸受装置であることを特徴とする(1)～(28)のいずれかに記載の異常診断装置。

(31) 機械設備は工作機械主軸用軸受装置であることを特徴とする(1)～(28)のいずれかに記載の異常診断装置。

(32) 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

検出された信号の波形の周波数を分析する工程と、

分析工程で得られたスペクトルに基づき算出した基準値より大きい該スペクトルのピ

ークを抽出し、ピーク間の周波数と回転速度信号或いは移動速度信号に基づき算出した部品の損傷に起因する周波数成分とを比較照合する工程と、

比較工程での照合結果に基づき部品の異常の有無及び異常部位を判定する工程と、

を備えることを特徴とする異常診断方法。

(33) 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

電気信号の単位時間当たりの波形が閾値を越えた衝撃波の頻度と、回転速度信号或いは移動速度信号に基づき、部品の異常の有無を検出する工程と、

を備えたことを特徴とする異常診断方法。

(34) 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

検出された信号の波形の周波数を分析する工程と、

分析工程で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と部品に起因した周波数成分とを可変な許容幅を持って比較照合する工程と、

比較工程での照合結果に基づき部品の異常の有無及び異常部位を判定する工程と、を備えることを特徴とする異常診断方法。

(35) 回転部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

検出された信号の波形の周波数を分析する工程と、

回転部品に起因した周波数成分に対して、回転部品の回転速度と回転部品の設計寸法諸元とから算出される上限値と下限値を有する領域を少なくとも一つの領域に分割し、各分割領域の中心値を求め、中心値に対して与えられる任意の大きさを持った少なくとも一つの許容幅を設定する工程と、

周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と回転部品に起因した周波数成分とを少なくとも一つの許容幅毎に比較照合する工程と、

比較工程での照合結果に基づき回転部品の異常の有無及び異常部位を判定する工程と、

を備えることを特徴とする異常診断方法。

(36) 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

検出された信号の波形の周波数を分析する工程と、

分析工程で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と部品に起因した周波数成分とを比較照合する工程と、

比較工程での照合結果に基づき部品の異常の有無及び異常部位を判定する工程と、

を備え、

比較照合に用いられる基準値は、実測スペクトルデータの限定した周波数範囲に基づいて算出されることを特徴とする異常診断方法。

(37) 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

検出された信号の波形の周波数を分析する工程と、

分析工程で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と部品に起因した周波数成分とを比較照合する工程と、

比較工程での照合結果に基づき部品の異常の有無及び異常部位を判定する工程と、

分析、比較、判定工程の少なくとも一つにて得られる診断結果を記憶する工程と、

診断結果を所定の形式で出力する工程と、

出力工程によって出力される出力結果を、少なくとも一つのプログラムに基づいてレポートを作成する工程と、

を備えることを特徴とする異常診断方法。

発明の効果

- [0023] (1)の発明によれば、回転部品の回転状態或いは摺動部品の摺動状態に伴う振動及び温度の情報を同時に検出し、振動系センサによる計測結果と温度センサによる計測結果との組み合わせに基づいて、異常の有無と損傷の程度を同時に判定するので、振動と温度に関する回転或いは摺動部品の異常形態の特徴を利用した損傷の程度の判定が可能となる。また、突発的な外乱ノイズ等の影響による誤診断を防止して信頼性の高い異常診断を行うことができる。更に、回転或いは摺動する部品が組み込まれている機械設備を分解することなく実稼動状態で回転部品の異常の有無と損傷の程度を同時に検査することができ、回転部品の最適な交換時期が分かり、効率的なメンテナンスを可能にすることができる。
- [0024] (3)の発明によれば、駆動装置の非通電時における回転或いは摺動する部品の所定の速度領域内での慣性運転時に、センサによる振動又は温度の検出信号に基づいて部品の異常を診断するようにしているので、回転或いは摺動する部品が組み込まれている機械設備を分解することなく実稼動状態で部品の異常を診断することができると共に、駆動装置の電氣的な外乱ノイズを抑制することにより、高感度で高SN比(信号対雑音比)での信号の検出が可能となり、信頼性の高い異常診断を行うことができる。
- [0025] また、(4)の発明によれば、回転部品が 100min^{-1} 以上 1500min^{-1} 以下の回転速度領域内で回転する時、センサによる振動又は温度の検出信号に基づいて回転部品の異常を診断するようにしているので、回転部品が組み込まれている機械設備を分解することなく実稼動状態で回転部品の異常を診断することができると共に、軸受の剥離や車輪のフラット摩耗等の損傷による加振力を高SN比で検出可能となり、信頼性の高い異常診断を行うことができる。
- [0026] (11)及び(32)の発明によれば、周波数分析で得られたスペクトルに基づき算出した基準値より大きいスペクトルのピークを抽出し、ピーク間の周波数と回転速度信号或いは移動速度信号に基づき算出した回転或いは摺動する部品の損傷に起因する周波数成分とを比較照合し、その照合結果に基づき該部品の異常の有無及び異常部位を判定するので、実際の回転速度を直接取り込むことができないような場合に、算出に用いた回転速度データが実際の回転速度とずれを生じているとしても、異常

の有無や異常部位の特定を精度良く行うことができる。また、簡単な構成で回転或いは摺動する部品が組み込まれている機械設備を分解することなく、異常の有無と異常の部位を特定することができ、装置の分解や組立にかかる手間を軽減できると共に、分解や組立に伴う該部品への損傷を防止することができる。

[0027] また、(13)及び(33)の発明によれば、機械設備から発生する信号から出力された電気信号の単位時間当たりの波形が閾値を越えた衝撃波の頻度と、回転速度信号或いは移動速度信号に基づき、部品の異常の有無及び異常部位を判定するので、鉄道車両における車輪のフラット等の部品の異常が発生している状態を正確に検出して、その車輪を特定することができる。

[0028] (17)及び(34)の発明によれば、周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と回転或いは摺動する部品に起因した周波数成分とを可変な許容幅を持って比較照合し、その照合結果に基づき部品の異常の有無及び異常部位を判定するようにしたので、実際の回転速度を直接取り込むことができないような場合に、算出に用いた回転速度データが実際の回転速度とずれを生じているとしても、異常の有無や異常部位の特定を精度良く行うことができる。また、簡単な構成で回転或いは摺動する部品が組み込まれている機械設備を分解することなく、異常の有無と異常の部位を特定することができ、装置の分解や組立にかかる手間を軽減できると共に、分解や組立に伴う該部品への損傷を防止することができる。

[0029] また、(18)及び(35)の発明によれば、回転部品の回転速度と回転部品の設計寸法諸元とから算出される上限値と下限値を有する領域を少なくとも一つの領域に分割し、該各分割領域の中心値を求め、中心値に対して与えられる任意の大きさの少なくとも一つの許容幅を持って比較照合するので、設計寸法諸元が互いに異なる複数の回転部品が任意の部位に組み込まれる場合や回転部品の回転速度が変動した場合でも異常の有無や異常の部位を特定することができる。

[0030] (23)及び(36)の発明によれば、実測スペクトルデータの周波数成分と回転或いは摺動する部品に起因した周波数成分とを比較照合する際、比較照合に用いられる基準値は、実測スペクトルデータの限定した周波数範囲に基づいて算出されるようにしたので、ノイズの影響を受け難くして診断精度を上げることができ、異常の有無及

び異常部位を特定することができる。また、簡単な構成で回転或いは摺動する部品が組み込まれている機械設備を分解することなく、異常の有無と異常の部位を特定することができ、装置の分解や組立にかかる手間を軽減できると共に、分解や組立に伴う該部品への損傷を防止することができる。

- [0031] さらに、(24)及び(37)の発明によれば、異常の有無、異常の部位、診断時のスペクトル波形(実測スペクトルデータ)のような診断結果を所定の形式で出力し、この出力結果を少なくとも一つのプログラムに基づいてレポートを作成するので、診断結果に基づくレポートの作成作業が容易となる。

図面の簡単な説明

- [0032] [図1]本発明の第1実施形態に係る診断対象を複列円すいころ軸受を備えた鉄道車両用転がり軸受装置とした異常診断装置の概略図である。
- [図2]異常診断装置の信号処理系統のブロック図である。
- [図3]軸受の焼付き異常発生時の振動値の経時変化を示すグラフである。
- [図4]軸受の焼付き異常発生時の外輪外周面の温度の経時変化を示すグラフである。
- [図5]転がり軸受の傷の部位と、傷に起因して発生する振動発生周波数との関係を示す図である。
- [図6]歯車の噛み合いで発生する異常振動周波数の関係式を説明するための図である。
- [図7]本発明の第2実施形態に係る異常診断装置の信号処理系統のブロック図である。
- [図8]第2実施形態に係る回転状態判定部の処理フローを示すフローチャートである。
- [図9]本発明の第3実施形態に係る異常診断装置の回転状態判定部の処理フローを示すフローチャートである。
- [図10]本発明の第4実施形態に係る異常診断装置の概略図である。
- [図11]図10の信号処理部のブロック図である。
- [図12]本発明の第4実施形態に係る異常診断方法の処理フローを示すフローチャー

トである。

[図13]本発明の第5実施形態に係る異常診断方法の処理フローを示すフローチャートである。

[図14]本発明の第6実施形態に係る異常診断方法の処理フローを示すフローチャートである。

[図15]本発明の第7実施形態に係る異常診断装置の概略図である。

[図16]本発明の第7実施形態に係る異常診断方法の処理フローを示すフローチャートである。

[図17]本発明の第8実施形態に係る異常診断装置の概略図である。

[図18]異常診断装置の検出部が組み込まれた機械設備である鉄道車両用軸受装置の断面図である。

[図19]本発明の第8実施形態と第7実施形態が組み合わされた異常診断装置の概略図である。

[図20]本発明の第9実施形態に係る異常診断装置の概略図である。

[図21]図20に示す異常診断モジュールのブロック図である。

[図22]図20に示す異常診断モジュールの処理フローを示すフローチャートである。

[図23]本発明の第9実施形態の異常診断の処理波形を説明するための図である。

[図24]本発明の第10実施形態に係る異常診断モジュールのブロック図である。

[図25]図24に示す異常診断モジュールの誤動作の説明図である。

[図26]本発明の第11実施形態に係る異常診断モジュールのブロック図である。

[図27]図26に示すデジタル処理部の処理波形を示す図である。

[図28]本発明の第2実施形態に係る試験2のモータ非通電時の振動センサによる振動波形を示すグラフである。

[図29]第2実施形態に係る試験2のモータ通電時の振動センサによる振動波形を示すグラフである。

[図30]本発明の第3実施形態に係る試験3の回転速度を変化させた時のハウジングの振動を周波数分析したグラフである。

[図31]本発明の第4実施形態に係る試験4の実施例3の異常診断を説明するための

図である。

[図32]第4実施形態に係る試験4の実施例4の異常診断を説明するための図である。

[図33]第4実施形態に係る試験4の実施例5の異常診断を説明するための図である。

[図34]本発明の第5実施形態に係る試験5の異常診断を説明するための図である。

[図35]第5実施形態に係る試験5における従来の異常診断を説明するための図である。

[図36]本発明の第6実施形態に係る試験6の異常診断を説明するための図である。

[図37]第6実施形態に係る試験6の異常診断を説明するための他の図である。

[図38]第6実施形態に係る試験7の異常診断を説明するための図である。

[図39]本発明の第7実施形態に係る試験8の異常診断を説明するための図である。

[図40]第7実施形態に係る試験8における従来の異常診断を説明するための図である。

符号の説明

- [0033] 10 転がり軸受装置(機械設備)
- 11 複列円すいころ軸受(回転部品)
- 12 軸受箱(静止部材)
- 31, 70 検出部
- 32 振動センサ(振動系センサ)
- 33 温度センサ
- 35 フィルタ処理部
- 37 エンベロープ処理部
- 38 周波数分析部
- 39 比較照合部
- 42 異常判定部
- 52 回転状態判定部
- 60, 120 機械設備
- 62 転がり軸受(回転部品)
- 72 センサ

- 80 制御器
- 81, 82 信号処理部
- 84 制御部
- 90 出力装置
- 93 モニタ
- 94 警報機
- 95 レポート作成部
- 96 記憶部
- 97 データ出力部
- 100 データ蓄積分配部
- 102 回転分析部
- 104 フィルタ処理部
- 106 振動分析部
- 108 比較判定部
- 110 内部データ保存部
- 200 鉄道車両(機械設備)
- 201 振動センサ
- 202、220、230 異常診断モジュール
- 203 通信回線
- 204 車輪(回転或いは摺動する部品)
- 205 デジタル処理モジュール
- 206 回転速度センサ
- 207、236 LPF
- 208 ADC
- 209 波形整形回路
- 210 TCNT
- 211 CPU
- 212 通信プロトコルIP

213 SIO
214 ラインドライバ
215 エンベロープ回路
216、235 HPF
217 全波整流回路
218 ピークホールド
219、231 デジタル処理部
232 エンベロープ処理
233 ヒルベルト変換
234 振幅復調
237 閾値カウント
238 診断部

発明を実施するための最良の形態

[0034] 以下、本発明の各実施形態に係る異常診断装置及び異常診断方法について、図面を参照して詳細に説明する。

[0035] (第1実施形態)

まず、図1～図6を参照して、本発明の第1実施形態に係る異常診断装置について説明する。

図1に示されるように、異常診断装置が適用される機械設備である鉄道車両用の転がり軸受装置10は、回転部品である複列円すいころ軸受11と、鉄道車両用台車の一部を構成する静止部材である軸受箱12とを備える。また、異常診断装置は、転がり軸受装置10から発生する信号を検出する検出部31と、検出部31の出力した電気信号から複列円すいころ軸受11の異常等の状態を判定するための信号処理部81及び転がり軸受装置10を駆動制御する制御部84とを備えた制御器80と、モニタ93や警報機94等の出力装置90とを備える。

[0036] 複列円すいころ軸受11は、駆動装置である駆動モータ13aにより回転駆動される回転軸である鉄道車両の車軸13を回転可能に支持しており、外周面に円すい外面状に傾斜した内輪軌道面15、15を有する一対の内輪14、14と、内周面に円すい内

面状に傾斜した一对の外輪軌道面17, 17を有する単一の外輪16と、内輪14, 14の内輪軌道面15, 15と外輪16の外輪軌道面17, 17との間に複列で複数配置された転動体である円すいころ18, 18と、円すいころ18, 18を転動自在に保持する環状の打ち抜き保持器19, 19と、外輪16の軸方向の両端部にそれぞれ装着された一对のシール部材20, 20とを備える。なお、駆動モータ13aは通電(ON)及び非通電(OFF)を繰り返して用いられると共に、駆動モータ13aの非通電時には複列円すいころ軸受11が車軸13と共に慣性回転する。

- [0037] 軸受箱12は、鉄道車両用台車の側枠を構成するハウジング21を備えており、このハウジング21は外輪16の外周面を覆うように円筒状に形成されている。また、ハウジング21の軸方向の前端部側には前蓋22が配置され、ハウジング21の軸方向の後端部側には後蓋23が配置されている。
- [0038] 一对の内輪14, 14の間には、内輪間座24が配置されている。一对の内輪14, 14及び内輪間座24には車軸13が圧入されており、外輪16はハウジング21に嵌合されている。複列円すいころ軸受11には、種々部材の重量等によるラジアル荷重と任意のアキシャル荷重とが負荷されており、外輪16の周方向の上側部が負荷圏になっている。ここで、負荷圏とは、転動体に対して荷重が負荷される領域をいう。
- [0039] 車軸13の前端部側に配置された一方のシール部材20は、外輪16の外側端部と前蓋22との間に組み付けられ、後端部側に配置された他方のシール部材20は、外輪16の外側端部と後蓋23との間に組み付けられている。
- [0040] ハウジング21の外周部の複列円すいころ軸受11の軸方向の略中央部位置には径方向に貫通する貫通穴26が形成され、この貫通穴26には異常診断装置の一部を構成する検出部31が単一の筐体27に収容された状態で固定されている。
- [0041] 検出部31は、振動センサ、AE(acoustic emission)センサ、音響センサ、超音波センサの少なくとも1つの振動を検出可能な振動系センサと温度センサとを一体に筐体27内に収納固定した複合一体型センサである。なお、図1の検出部31は、振動センサ32と温度センサ33を備える。
- [0042] 振動センサ32は、圧電素子等の振動測定素子であり、複列円すいころ軸受11の内外輪軌道面15, 15, 17, 17の剥離や、歯車の欠損、車輪のフラット摩耗等を検出

するのに用いられる。なお、振動センサ32は、加速度、速度或いは変位型等、振動を電気信号化できるものであればよく、ノイズが多いような機械設備に取付ける際には、絶縁型を使用する方がノイズの影響を受けることがないので好ましい。また、音響センサは、車軸部等から発生する音を音波として集音して、電気信号化できるマイクロホンを用いてもよく、マイクロホンは指向性を有した方が集音により好適である。

[0043] 温度センサ33は、サーミスタ温度測定素子や白金測温抵抗体や熱電対等の非接触タイプの温度測定素子であり、筐体27内で外輪16の外周面近傍に配置されている。また、温度センサ33としては、雰囲気温度が規定値を越えると、バイメタルの接点が離れたり、接点が溶断したりすることで導通しなくなる温度ヒューズを用いることができる。その場合、転がり軸受装置10の温度が規定値を超えたとき、温度ヒューズの導通が遮断されることによって温度異常が検出される。

[0044] また、検出部31は、複列円すいころ軸受11の非回転側軌道輪に嵌合している軸受箱12のラジアル荷重の負荷圏領域に取り付けている。このため、例えば、軸受軌道面に損傷が発生した場合、その損傷部を転動体が通過する際に生じる衝突力は無負荷圏よりも負荷圏の方が大きく、軸受負荷圏側の方が感度良く異常振動を検出することができる。

なお、検出部31は、複列円すい軸受11のような転がり軸受の他に、機械設備の構成に応じて、歯車や車輪(共に図示せず)の振動及び温度を検出することができる。

[0045] また、本実施形態では、複列円すいころ軸受11の回転速度を検出するエンコーダ等の回転速度センサ40(図2参照)が設けられている。

[0046] 信号処理部81は、図2に示すように、振動センサ32による振動信号を増幅後に振動計測値分析部50を介して異常判定部42に出力すると同時に、温度センサ33による温度信号を増幅後に温度計測値分析部51を介して異常判定部42に出力し、異常判定部42が振動と温度の各計測値又は時間に対する各変化率の組合せに基づいて、複列円すいころ軸受11の異常の有無及び損傷の程度を判定する。ここで、各計測値は、任意の時間における実効値でもピーク値でもよい。

[0047] 即ち、軸受軌道面に剥離損傷が発生した場合には、その損傷部を転動体が通過するごとに衝撃が生じるため振動値の変化が大きくなるが、その前兆または直後では

温度はほとんど変化しない。一方、軸受に焼付き異常が生じると、その前兆として計測時間に対する振動と温度の変化が大きくなるという特徴がある。このように、本実施形態では、異常の種類によって振動と温度の変化の仕方が異なるという回転部品の異常形態の特徴を利用したものであり、振動と温度の各計測値又は時間に対する各変化率を組み合わせることにより、複列円すいころ軸受11の異常の有無及び損傷の程度を判定することができる。

- [0048] 図3は、軸受に焼付き異常が生じるまでの振動の経時変化を示し、図4は、軸受に焼付き異常が生じるまでの温度の経時変化を示す。
- [0049] 図3及び図4より、軸受に焼付きが発生する前兆として、A点から振動が急激に増加しているが、温度変化はほとんどない。その後、B点から振動がさらに増加し、この時点から温度が上昇している。振動はさらに増加後、C点で焼付きが生じ、焼付き後の温度はさらに上昇して過熱していることがわかる。
- [0050] 従って、図3及び図4に示した計測結果に基づき、A、B、C点における振動と温度の計測値又は時間に対する変化率を求め、これらの値を予め設定しておいた規定値と比較することにより複列円すいころ軸受11の異常の有無及び損傷の程度を判定する。
- [0051] 更に、本実施形態では、振動センサ32による振動の情報について、振動波形にフィルタ処理後、エンベロープ処理を施して周波数分析を行い、軸受の傷等の損傷の有無の判定及び損傷部位の特定を行えるようにして異常診断の信頼性を確実なものとしている。
- [0052] 即ち、図2に示すように、振動センサ32が発生した振動信号は、有線または無線の信号伝送手段34を介して増幅及びA/D変換後にフィルタ部35に転送される。フィルタ部35は、固有振動数記憶部36に記憶された、複列円すいころ軸受11の固有振動数に基づいて、振動信号からその固有振動数に対応する所定の周波数帯域のみを抽出する。なお、振動信号の増幅及びA/D変換は、伝送前に行なわれてもよく、増幅、A/D変換の順序は逆であってもよい。
- [0053] この固有振動数は、複列円すいころ軸受11を被測定物として、打撃法により加振し、被測定物に取付けた振動検出器又は打撃により発生した音響を周波数分析するこ

とにより容易に求めることができる。なお、被測定物が複列円すいころ軸受の場合には、内輪、外輪、転動体、保持器等のいずれかに起因する固有振動数が与えられる。一般的に、機械部品の固有振動数は複数存在し、また固有振動数での振幅レベルは高くなるため測定之感度がよい。

- [0054] その後、エンベロープ処理部37では、フィルタ部35にて抽出された所定の周波数帯域に対して、波形の絶対値を検波する絶対値検波処理が行われる。さらに、周波数分析部38で波形の周波数の分析処理が行われ、実測値データが比較照合部39へ転送される。
- [0055] 一方、理論周波数計算部41において、回転速度センサ40からの回転速度情報に基づき算出された、軸受の剥離、歯車の欠損、車輪のフラット等、回転部品の損傷に起因した周波数の計算値データが比較照合部39に転送される。なお、回転部品が転がり軸受の場合には、計算値データは、図5に示されるような、内輪、外輪、転動体、保持器の損傷に起因した周波数データとなる。また、回転部品が歯車の場合には、図6に示されるような、傷に起因する周波数データとなる。
- [0056] そして、比較照合部39で実測値データと計算値データとが比較照合され、異常判定部42にて異常の有無、異常部位の特定、損傷の程度の判定が行われる。出力装置90は、複列円すいころ軸受11の異常の有無、損傷の程度、異常部位の特定等の判定結果を出力し、異常が検出された場合にはアラーム等の警報を発したり、判定結果を記憶部に取り込む。ここで、異常判定部42から出力装置90への情報転送は、有線や無線等のデータ伝送手段92によって行われる。また、この判定結果を、転がり軸受装置10の駆動機構の動作を制御する制御部84へ出力し、この判定結果に応じた制御信号をフィードバックするようにしてもよい。
- [0057] なお、増幅後の振動信号処理は、各種データ処理と演算を行うもので、例えば、コンピュータ或いは専用マイクロチップ等を用いることが可能である。また、検出した信号をメモリ等の記憶手段に格納後に、演算処理を行うようにしても良い。
- [0058] このように本実施形態では、回転部品である複列円すいころ軸受11の回転状態に伴う振動及び温度の情報を同時に検出し、振動センサ、音響センサ、超音波センサ、或いは、AEセンサ等の振動系センサによる計測結果と温度センサによる計測結果

との組み合わせに基づいて、異常の有無と損傷の程度を同時に判定するので、振動と温度に関する複列円すいころ軸受11の異常形態の特徴を利用した損傷の程度の判定が可能となる。また、突発的な外乱ノイズ等の影響による誤診断を防止して信頼性の高い異常診断を行うことができる。更に、複列円すいころ軸受11が組み込まれている鉄道車両用転がり軸受装置10を分解することなく実稼動状態で複列円すいころ軸受11の異常の有無と損傷の程度を同時に検査することができ、この結果、複列円すいころ軸受11の最適な交換時期が分かり、効率的なメンテナンスを可能にすることができる。特に、本発明では、振動と温度の計測値または変化率を組み合わせることで異常の有無を複数回診断して判定している。

[0059] また、振動の情報については、回転速度信号に基づき算出した複列円すいころ軸受11の損傷に起因した周波数成分と振動センサ32により検出された信号の振動波形にフィルタ処理及びエンベロープ処理を施して得られた実測データの周波数成分とを比較することにより、複列円すいころ軸受11の異常の有無の判定や損傷部位を特定することもでき、異常診断の信頼性をより確実なものとすることができる。

[0060] (第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態に係る異常診断装置について、図7及び図8を参照して詳細に説明する。なお、第1実施形態と同等部分については、同一符号を付して説明を省略或いは簡略化する。

[0061] 本実施形態では、信号処理部81は、駆動モータ13a(図1参照)の非通電時における複列円すいころ軸受11の所定の回転速度領域内での慣性回転状態を回転速度センサ40及び駆動モータ13aのOFF信号に基づいて検出し、該検出時に、振動センサ32及び温度センサ33による検出信号に基づいて複列円すいころ軸受11の異常を診断する。

[0062] まず、図7に示すように、振動センサ32が発生した振動信号、温度センサ33が発生した温度信号は、信号伝送手段34を介して増幅及びA/D変換後に回転状態判定部52に転送される。なお、振動信号の増幅及びA/D変換は伝送前に行なわれてもよく、また、増幅とA/D変換の順序は逆であっても良い。

[0063] 回転状態判定部52は、駆動モータ13aを所定の回転速度領域内で駆動運転した

後、駆動モータ13aを非通電とした慣性回転領域かどうかを判定する。例えば、図8の処理フローに示すように、回転状態判定部52は、駆動モータ側のOFF信号が出力されているか否かを判定する(ステップS11)と共に、回転速度センサ40からの複列円すいころ軸受11の回転速度情報が予め設定された所定の回転速度領域内であるか否かを判定する(ステップS12)。そして、駆動モータ側のOFF信号(非通電)が出力されておらず、或いは回転速度センサ40からの複列円すいころ軸受11の回転速度情報が予め設定された所定の回転速度領域内ではない場合は、ステップS11に戻って処理を繰り返す。一方、駆動モータ側のOFF信号が回転状態判定部52に出力され、且つ回転速度センサ40からの複列円すいころ軸受11の回転速度情報が予め設定された所定の回転速度領域内である場合には、その時点の振動信号及び温度信号を検出し、フィルタ部35、温度計測値分析部51に転送する(ステップS13)。

[0064] なお、回転状態判定部52は、複列円すいころ軸受11の回転速度情報が所定の回転速度領域内であることが確認されている場合には、駆動モータのOFF信号の出力に基づいて振動信号及び温度信号を検出するようにしてもよい。或いは、回転速度センサ40による回転速度情報の推移によって駆動モータ13aが非通電時であることとを判断するようにすれば、回転速度センサ40による回転速度の検出信号と、検出部31による振動又は温度の検出信号とを連動させて、回転部品の異常を診断するようにしてもよい。

[0065] なお、駆動モータ13aが非通電時である場合には、振動の情報は、図7に示すように、第1実施形態と同様に処理され、異常判定部42は、複列円すいころ軸受11の振動異常の有無、異常部位の特定を行う。出力装置90は複列円すいころ軸受11の異常判定と異常部位の特定の結果の出力を行い、アラーム等の警報が発せられたり、判定結果が記憶部に取り込まれる。

[0066] 一方、駆動モータ側のOFF信号が出力され、且つ複列円すいころ軸受11の回転速度情報が予め設定された所定の回転速度領域内である場合に検出された温度信号は、温度計測値分析部51にて処理された後、異常判定部42に出力される。

[0067] 該異常判定部42では予め設定した閾値を超えるか否かを判定し、閾値を超えない

場合は軸受に異常は発生していないと判断し、閾値を超えた場合は焼付き等の異常が軸受に発生したと判断して、出力装置90で複列円すいころ軸受11の異常判定の結果の出力が行われ、アラーム等の警報が発せられる。

[0068] このように本実施形態では、信号処理部81は、駆動モータ13aの非通電時における複列円すいころ軸受11の所定の回転速度領域内での慣性回転状態において、振動センサ32及び温度センサ33による検出信号に基づいて複列円すいころ軸受11の異常を診断するようにしているので、複列円すいころ軸受11が組み込まれている鉄道車両用転がり軸受装置10を分解することなく実稼動状態で複列円すいころ軸受11の異常を診断することができると共に、駆動モータ13a駆動時の電磁音等、電気的な外乱ノイズを抑制することにより、高感度で高SN比(信号対雑音比)での信号の検出が可能となり、信頼性の高い異常診断を行うことができる。

[0069] 本実施形態において、駆動モータ13a駆動時、電磁音等の電気的な外乱ノイズの影響は振動センサ32の方が温度センサ33より大きいので、少なくとも振動センサ32からの信号伝達手段34が回転状態判定部52に転送され、温度センサ33から回転状態判定部52を通らずに温度計測値分析部51に信号伝送手段34が転送されるようにしてもよい。

なお、その他の構成及び作用については、第1実施形態のものと同様である。

[0070] (第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態に係る異常診断装置について、図9を参照して説明する。なお、第2実施形態と同等部分については、同一符号を付して説明を省略或いは簡略化する。

[0071] 本実施形態の異常診断装置では、図9のフローチャートに示すように、回転状態判定部52(図7参照)は、回転速度センサ40からの複列円すいころ軸受11の回転速度情報が 100min^{-1} 以上 1500min^{-1} 以下の回転速度領域内であるか否かを判定する(ステップS21)。そして、複列円すいころ軸受11の回転速度情報が 100min^{-1} 以上 1500min^{-1} 以下の回転速度領域外である場合は、ステップS21に戻って処理を繰り返す。一方、複列円すいころ軸受11の回転速度情報が 100min^{-1} 以上 1500min^{-1} 以下の回転速度領域内である場合には、その時点の振動信号及び温度信号を検出

し、フィルタ部35、温度計測値分析部51に転送する(ステップS22)。

- [0072] 従って、本実施形態の異常診断装置では、図7の回転状態判定部52は、駆動モータ13aのOFF信号の出力を用いずに、複列円すいころ軸受11が 100min^{-1} 以上 1500min^{-1} 以下の回転速度領域内であるかどうかを判定するように構成される。
- [0073] ただし、本実施形態の異常診断装置でも、第2実施形態と同様に、回転状態判定部52が、駆動モータ13aのOFF信号の出力を用いて、或いは、回転速度センサ40による回転速度情報の推移によって駆動モータ13aが非通電時であることを判断するようにしても良い。従って、複列円すいころ軸受11が 100min^{-1} 以上 1500min^{-1} 以下の回転速度領域内で慣性回転する時に、振動信号及び温度信号を検出することで、駆動モータ13a通電時の電磁成分の影響がなくなり、より高精度な異常診断が可能となる。
- [0074] 従って、本実施形態の異常診断装置によれば、複列円すいころ軸受11が 100min^{-1} 以上 1500min^{-1} 以下の回転速度領域内で回転する時、振動センサ32及び温度センサ33による検出信号に基づいて複列円すいころ軸受11の異常を診断するようにしているので、複列円すいころ軸受11が組み込まれている鉄道車両用転がり軸受装置10を分解することなく実稼動状態で複列円すいころ軸受11の異常を診断することができると共に、複列円すいころ軸受11の剥離や車輪のフラット摩耗等の損傷による加振力を外乱ノイズ等の影響を受けることなく高SN比で検出可能となり、その結果、信頼性の高い異常診断を行うことができる。
- 特に、外径が $\phi 200\text{mm}$ (内径 $\phi 100\text{mm}$ 、幅 150mm)以上の複列円すいころ軸受11が組み込まれる鉄道車両用転がり軸受装置10において、複列円すいころ軸受11が上記回転速度領域内で回転する場合に異常診断を行うことで、信頼性の高い異常診断が可能である。
- その他の構成及び作用については、第2実施形態のものと同様である。
- [0075] なお、機械設備によってはクラッチ機構等を用いて歯車列の噛合いが間欠的に行われる場合があり、上記第2及び第3実施形態に加えて、クラッチによる歯車列の噛合いが離れた時に振動センサ32及び温度センサ33による検出信号に基づいて複列円すいころ軸受11の異常を診断することにより、機械的な歯車列の噛合いノイズと

電氣的なノイズの影響を受けることがなくなり、さらに高SN比な異常診断が可能となる。なお、歯車列の噛み合いが離れた時に駆動モータ側に信号を出力し、駆動モータの非通電状態後に振動や温度の信号検出及び異常診断を行うと、診断の効率化が図れる。

- [0076] 更に、鉄道車両用においては、上記第2及び第3実施形態に加えて、線路の繋ぎ目やポイント等がなく、且つ直線走行時に、振動センサ32及び温度センサ33による検出信号に基づいて複列円すいころ軸受11の異常を診断することによっても同様の作用効果を得ることができる、この場合、例えば、直線走行になる場所を通過した時に運転席側または駆動モータ側に信号を出力し、駆動モータの非通電状態後に振動や温度の信号検出及び異常診断を行うと診断の効率化が図れる。

[0077] (第4実施形態)

次に、図10～12を参照して、第4実施形態の異常診断装置について説明する。図10に示されるように、異常診断装置は、機械設備60から発生する信号を検出する検出部70と、検出部70の出力した電気信号から機械設備60の回転部品の異常等の状態を判定するための信号処理部82及び機械設備60を駆動制御する制御部84とを備えた制御器80と、モニタ93や警報機94等の出力装置90とを備える。

- [0078] 機械設備60には、1例として回転部品である転がり軸受62が設けられており、転がり軸受62は、回転軸(図示せず)に外嵌される回転輪である内輪64と、ハウジング(図示せず)に内嵌される固定輪である外輪66と、内輪64及び外輪66との間に配置された複数の転動体である玉68と、玉68を転動自在に保持する保持器(図示せず)とを備える。

- [0079] 検出部70は、運転中に機械設備60から発生する振動を検出するセンサ72を備える。センサ72は、ボルト固定、接着、ボルト固定と接着、或いはモールド材による埋め込み等によってハウジングの外輪近傍に固定されている。なお、ボルト固定の場合には、回り止め機能を備えるようにしてもよい。また、センサ72をモールドする場合には、防水性が図られると共に、外部からの加振に対する防振性が向上するため、センサ72自体の信頼性を飛躍的に向上することができる。

- [0080] また、センサ72は、振動を検出可能な振動系センサであればよく、振動センサ、A

E (acoustic emission) センサ、超音波センサ、及びショックパルスセンサ等や、加速度、速度、歪み、応力、変位型等、振動を電気信号化できるものであればよい。また、ノイズが多いような機械設備に取り付ける際には、絶縁型を使用する方がノイズの影響を受けることが少ないので好ましい。さらに、センサ72が、圧電素子等の振動検出素子を使用する場合には、この素子をプラスチック等にモールドして構成してもよい。加えて、本実施形態の機械設備60は、転がり軸受62の他に、歯車や車輪(共に図示せず)等の振動をセンサ72によって検出することができる。

- [0081] また、検出部70は、図1の検出部31と同様に、機械設備から発生する振動を検出するセンサ72と、機械設備の温度を検出する温度センサや回転速度センサが単一の筐体内に收容される一体型センサであってもよい。この場合、一体型センサは、転がり軸受62を固定する軸受箱の平坦部に固定されることが好ましい(図18参照。)。温度センサは、温度がある規定値になると、バイメタルの接点が離れるか、接点が溶断することで導通しなくなる方式の温度ヒューズであってもよい。これにより、ある規定値以上の温度が検出されると、温度ヒューズが導通しなくなるので、異常を検出することができる。
- [0082] 信号処理部82及び制御部84とを備える制御器80は、マイクロコンピュータ(ICチップ、CPU、MPU、DSP等)によって構成されており、データ伝送手段74を介してセンサ72からの電気信号を受け取る。
- [0083] 信号処理部82は、図11に示されるように、データ蓄積分配部100、回転分析部102、フィルタ処理部104、振動分析部106、比較判定部108、内部データ保存部110を備える。データ蓄積分配部100は、センサ72からの電気信号及び回転速度に関する電気信号を受け取り一時的に蓄積すると共に、信号の種類に応じて各分析部102、106の何れかに信号を振り分ける収集および分配機能を有している。各種信号は、データ蓄積分配部100に送られる以前に、図示しないAD変換器によりデジタル信号にA/D変換され、図示しない増幅器によって増幅された後にデータ蓄積分配部100に送られる。なお、A/D変換と増幅は、順序が逆であっても構わない。
- [0084] 回転分析部102は、回転速度を検出するセンサ(図示せず)からの出力信号を基に、内輪64、即ち回転軸の回転速度を算出し、算出した回転速度を比較判定部10

8に送信する。なお、上記検出素子が、内輪64に取り付けられたエンコーダと外輪66に取り付けられた磁石及び磁気検出素子で構成されている場合には、検出素子が出力する信号は、エンコーダの形状と回転速度に応じたパルス信号となる。回転分析部102は、エンコーダの形状に応じた所定の変換関数又は変換テーブルを有しており、関数またはテーブルに従って、パルス信号から内輪64及び回転軸の回転速度を算出する。

[0085] フィルタ処理部104は、回転部品である転がり軸受62や歯車や車輪等の固有振動数に基づいて、振動信号からその固有振動数に対応する所定の周波数帯域のみを抽出し、不要な周波数帯域を除去する。この固有振動数は、回転部品を被測定物として、打撃法により加振し、被測定物に取付けた振動検出器又は打撃により発生した音響を周波数分析することにより容易に求めることができる。なお、被測定物が転がり軸受の場合には、内輪、外輪、転動体、保持器等のいずれかに起因する固有振動数が与えられる。一般的に、機械部品の固有振動数は複数存在し、また固有振動数での振幅レベルは高くなるため測定感度がよい。

[0086] 振動分析部106は、センサ72からの出力信号を基に、軸受62、歯車、車輪に発生している振動の周波数分析を行う。具体的には、振動分析部106は、振動信号の周波数スペクトルを算出するFFT計算部であり、FFTのアルゴリズムに基づいて、振動の周波数スペクトルを算出する。算出された周波数スペクトルは、比較判定部108に送信される。また、振動分析部106は、FFTを行う前処理として、絶対値処理やエンベロープ処理を行い、診断に必要な周波数成分のみに変換してもよい。振動分析部106は、必要に応じて、エンベロープ処理後のエンベロープデータも併せて比較判定部108に出力する。

[0087] 比較判定部108は、振動分析部106による振動の周波数スペクトルと、この周波数スペクトルから算出される異常診断に用いられる基準値とを比較し、周波数スペクトルから基準値より大きいピーク成分を抽出して、ピーク間の周波数値を算出する。一方で、図5及び図6に示す関係式から、各回転部品の異常時に起因して発生する回転部品の振動発生周波数成分、即ち、軸受の傷成分 S_x (内輪傷成分 S_i 、外輪傷成分 S_o 、転動体傷成分 S_b 及び保持器成分 S_c)、歯車の噛み合いに対応する傷成分 S_g

、車輪等の回転体の摩耗やアンバランス成分 S_r を求め、この振動発生周波数成分とピーク間の周波数値を比較する。さらに、比較判定部108は、判定結果に基づき、異常の有無及び異常部位の特定を行う。

[0088] なお、振動発生周波数成分の演算は、これより前に行ってもよく、以前に同様の診断を行っている場合には、内部データ保存部110に記憶し、そのデータを用いてもよい。また、算出に用いる各回転部品の設計諸元データは事前に入力記憶させておく。

[0089] そして、比較判定部108での判定結果は、メモリやHDD等の内部データ保存部110に保存されても良いし、データ伝送手段92を介して出力装置90へ伝送されてもよい。また、この判定結果を、機械設備60の駆動機構の動作を制御する制御部84へ出力し、この判定結果に応じた制御信号をフィードバックするようにしてもよい。

[0090] また、出力装置90は、判定結果をモニタ等にリアルタイムに表示してもよいし、異常が検出された場合にはライトやブザー等の警報機を使って異常の通知を行なってもよい。なお、データ伝送手段74, 92は、的確に信号を送受信可能であれば良く、有線でも良いし、ネットワークを考慮した無線を利用しても良い。

[0091] 次に、図12を参照して、振動信号を基にした異常診断の処理フローの具体例について説明する。

[0092] まず、センサ72は各回転部品の振動を検出する(ステップS101)。検出された振動信号は、A/D変換器によりデジタル信号に変換され(ステップS102)、所定の増幅率で増幅された後(ステップS103)、フィルタ処理部104により回転部品の固有振動数に対応した所定の周波数帯域のみを抽出するフィルタ処理が行われる(ステップS104)。その後、振動分析部106では、フィルタ処理後のデジタル信号に対してエンベロープ処理を施し(ステップS105)、エンベロープ処理後のデジタル信号の周波数スペクトルを求める(ステップS106)。

[0093] 次に、図5及び図6に示す関係式から、回転速度信号に基づき各回転部品の異常に起因して発生する周波数成分(軸受の傷成分 S_x (内輪傷成分 S_i 、外輪傷成分 S_o 、転動体傷成分 S_b 及び保持器成分 S_c)、歯車の噛み合いに対応する傷成分 S_g 、車輪等の回転体の摩耗やアンバランス成分 S_r)を求める(ステップS107)。

- [0094] 一方、振動分析部106で得られた周波数スペクトルから異常診断に用いられる基準値(例えば、音圧レベル或いは電圧レベル)を算出する(ステップS108)。なお、この基準値は、任意の時間における実測スペクトルデータのデジタル信号の実効値やピーク値であってもよく、またこれらの値を基に算出したものであってもよい。
- [0095] 次いで、ステップS106で得られた周波数スペクトルから、ステップS108で計算された基準値より大きいピーク成分を抽出し、ピーク間の周波数値を算出する(ステップS109)。そして、ピーク間の周波数値と、ステップS107における回転部品の振動発生周波数成分とを比較し(ステップS110)、全ての成分が一致しない時は回転部品に異常なしとして判断する(ステップS111)。一方、いずれかの成分が一致する場合には、異常有りと判断してその異常部位を特定する(ステップS112)と共に、その照合結果を制御部84や、モニタ93や警報機94等の出力装置90に出力する(ステップS113)。
- [0096] このように本実施形態では、周波数分析で得られたスペクトルに基づき算出した基準値より大きいスペクトルのピークを抽出し、ピーク間の周波数と回転速度信号に基づき算出した回転部品の損傷に起因する周波数成分とを比較照合し、その照合結果に基づき回転部品の異常の有無及び異常部位を特定するので、実際の回転速度を直接取り込むことができない場合に、算出に用いた回転速度データが実際の回転速度とずれを生じているとしても、異常の有無や異常部位の特定を精度良く行うことができる。
- [0097] また、本発明の異常診断装置及び異常診断方法によれば、簡単な構成で回転部品が組み込まれている機械設備を分解することなく、異常の有無と異常の部位を特定することができ、装置の分解や組立にかかる手間を軽減できると共に、分解や組立に伴う該部品への損傷を防止することができる。
- [0098] さらに、本実施形態の異常診断装置及び異常診断方法によれば、信号処理部をマイクロコンピュータで構成するようにしたので、信号処理部がユニット化され、異常診断装置の小型化やモジュール化を図ることができる。
- [0099] (第5実施形態)
- 次に、図13を参照して、第5実施形態の異常診断装置について説明する。なお、

第4実施形態と同等部分については、同一符号を付して説明を省略或いは簡略化する。

- [0100] 本実施形態では、信号処理部82の比較判定部108における処理において第4実施形態のものと異なる。本実施形態における比較判定部108は、転がり軸受62、歯車、車輪に起因した周波数成分と振動分析部106による振動の実測スペクトルデータの周波数成分とを可変な許容幅を持って比較照合する。本実施形態では、比較判定部108は、実測スペクトルデータから基準値(例えば、音圧レベル或いは電圧レベル)を算出する一方、図5及び図6に示す関係式を用いて転がり軸受や歯車の傷に起因する周波数(振動発生周波数)を計算し、実測スペクトルデータからこれら振動発生周波数に可変な許容幅を与えた範囲での音圧レベル(又は電圧レベル)を抽出して、基準値と比較している。さらに、比較判定部108は、判定結果に基づき、異常の有無及び異常部位の特定を行う。
- [0101] なお、振動発生周波数の演算は、第4実施形態同様、これより前に行ってもよく、以前に同様の診断を行っている場合には、内部データ保存部110に記憶し、そのデータを用いてもよい。また、算出に用いる各回転部品の設計諸元データは事前に入力記憶させておく。
- [0102] また、比較照合における可変な許容幅は、周波数成分が高調波であるほど大きくなるように設定することにより、対象とする周波数帯域や回転速度に連動させれば、実回転速度の変化(鉄道車両における車輪の摩耗の影響による変化等)に対応することが可能となる。
- [0103] 図13を参照して、振動信号を基にした異常診断の処理フローの具体例について説明する。
- [0104] まず、本実施形態においても、第4実施形態のステップS101～ステップS106と同様な処理(ステップS201～ステップS206)が行われる。
- [0105] 次に、図5及び図6に示す関係式から、回転速度信号に基づき各回転部品の異常に起因して発生する振動発生周波数を求め(ステップS207)、求めた周波数に対して可変な許容幅を持った各回転部品の異常周波数帯域の音圧レベル(転がり軸受62の場合には、軸受傷成分 S_x 、即ち、内輪傷成分 S_i 、外輪傷成分 S_o 、転動体傷成

分Sb及び保持器成分Sc、歯車の場合には、噛み合いに対応する歯車傷成分Sg、及び車輪等の回転体の場合には、回転体の摩耗やアンバランス成分Sr)を求める(ステップS208)。

- [0106] 一方、第4実施形態と同様、振動分析部106で得られた周波数スペクトルから異常診断に用いられる基準値(例えば、音圧レベル或いは電圧レベル)を算出する(ステップS209)。
- [0107] 次いで、ステップS208で算出された各回転部品の異常周波数帯域の音圧レベル(又は電圧レベル)とステップS209で計算された基準値との比較を設計諸元の異なる各回転部品毎に分けて順番に行う(ステップS210)。全ての成分が一致しない時は回転部品に異常なしとして判断する(ステップS211)。一方、いずれかの成分が一致する場合には、異常有りと判断してその異常部位を特定する(ステップS212)と共に、その照合結果を制御部84や、モニタ93や警報機94等の出力装置90に出力する(ステップS213)。
- [0108] このように本実施形態では、周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と回転部品に起因した周波数成分とを可変な許容幅を持って比較照合し、その照合結果に基づき回転部品の異常の有無及び異常部位を判定するようにしたので、実際の回転速度を直接取り込むことができない場合に、算出に用いた回転速度データが実際の回転速度とずれを生じているとしても、異常の有無や異常部位の特定を精度良く行うことができる。
- その他の構成及び作用については、第4実施形態のものと同様である。
- [0109] (第6実施形態)
- 次に、図14を参照して、本発明の第6実施形態に係る異常診断装置及び異常診断方法について詳細に説明する。なお、第5実施形態と同等部分については、同一符号を付して説明を省略あるいは簡略化する。
- [0110] 本実施形態では、信号処理部82の比較判定部108における処理において第5実施形態のものと異なる。本実施形態においても、図14の処理フローに示されるように、ステップS301～ステップS306は、第4実施形態のステップS101～ステップS106と同様に行われる。

- [0111] 次に、図5及び図6に示す関係式から、回転速度信号に基づき各回転部品の異常に起因して発生する振動発生周波数を求める(ステップS307)。そして、回転部品の回転速度と回転部品の設計寸法諸元とから算出される各諸元での回転部品の損傷成分の上限周波数と下限周波数を有する領域である許容幅と、その幅の中心周波数を計算する(ステップS308)。また、ステップS308では、必要に応じて、許容幅を一つ以上の幅に分割し、該各幅に対する中心周波数を求め、該中心周波数に対して任意の大きさの幅を持った許容幅を与える。なお、この許容幅は、周波数帯域に対応して大きくなるように設定してもよい。
- [0112] その後、ステップS307で求めた周波数に対して許容幅を持った回転部品の異常周波数帯域の音圧レベル(転がり軸受62の場合には、軸受傷成分 S_x 、即ち、内輪傷成分 S_i 、外輪傷成分 S_o 、転動体傷成分 S_b 及び保持器成分 S_c 、歯車の場合には、噛み合いに対応する歯車傷成分 S_g 、及び車輪等の回転体の場合には、回転体の摩耗やアンバランス成分 S_r)を求める(ステップS309)。
- [0113] 一方、第5実施形態と同様に、振動分析部106で得られた周波数スペクトルから異常診断に用いられる基準値(例えば、音圧レベル或いは電圧レベル)を算出し(ステップS310)、ステップS309で算出された各回転部品の異常周波数帯域の音圧レベル(又は電圧レベル)とステップS310で計算された基準値との比較を設計諸元の異なる各回転部品毎に分けて順番に行う(ステップS311)。そして、このステップS311では、周波数の許容幅を分割した回数分繰り返す。
- [0114] そして、全ての成分が一致しない時は回転部品に異常なしとして判断する(ステップS312)。一方、いずれかの成分が一致する場合には、異常有りと判断してその異常部位を特定する(ステップS313)と共に、その照合結果を制御部84や、モニタ93や警報機94等の出力装置90に出力する(ステップS314)。
- [0115] なお、回転部品に異常がある場合、ステップS308にて許容幅を分割した際には、分割された許容幅のいずれかにおいて、異常有りと判定されることがある。このため、例えば、2つの許容幅数分の診断を行う場合、ステップS311では、第1の幅での診断の結果、異常有りと判定した時点で、第2の幅での診断を行わないことも可能であり、第1の幅で正常と診断した後に、第2の幅での診断を行っている。

- [0116] ステップS309における各回転部品の異常に起因して発生する振動発生周波数は、図5や図6の関係式に示すように、回転速度や設計寸法諸元によって与えられるため、回転変動や設計寸法諸元の違いは高精度な診断の妨げとなる。このため、ステップS308のように許容幅を設定することは、回転部品が互いに異なる設計寸法諸元を有する複数の回転部品を備える場合や、実際の回転速度信号が直接取り込めず、回転部品の回転速度が変動する場合において有効である。
- [0117] 例えば、実際の回転速度信号が直接取り込めない場合でも、一定の回転速度で回転している際の回転速度の変動幅がわかっている場合がある。この場合、下限回転速度と上限回転速度をもとに、回転部品の損傷に起因した特徴周波数成分を算出して許容幅を求めるが、許容幅が大きいと該回転部品の損傷成分以外の周波数成分を多く含み、診断精度が悪くなる。このため、許容幅は必要に応じて分割され、各分割された幅に対する中心周波数を求め、該中心周波数に対して任意の大きさの幅を持った許容幅を設け、この分割された許容幅数分の比較照合を行って、回転速度変動の影響を受けることなく、高精度な診断を可能とする。
- [0118] 従って、本実施形態の異常診断装置及び異常診断方法によれば、回転部品の回転速度と回転部品の設計寸法諸元とから算出される上限値と下限値を有する領域を少なくとも一つの領域に分割し、該各分割領域の中心値を求め、中心値に対して与えられる任意の大きさの少なくとも一つの許容幅を持って比較照合するので、設計寸法諸元が互いに異なる複数の回転部品が任意の部位に組み込まれる場合や回転部品の回転速度が変動した場合でも異常の有無や異常の部位を確実に特定することができ、高精度な診断が可能となる。また、これにより、従来のように同じ諸元の部品を組み込まなければならないという手間が省け、異なる諸元の部品を組み込んだ場合でも、診断が可能であるため作業効率が向上し、効果的なメンテナンスが可能となる。
- [0119] なお、本実施形態の異常診断は、回転部品が互いに異なる設計寸法諸元を有する複数の回転部品を備え、且つ、回転部品の回転速度が変動する機械設備の場合においても有効である。

また、軸受の異常診断において、図5に示す各周波数成分は回転周波数の整数

倍であるため、予め軸受諸元が既知の場合には、回転速度変動に伴う下限と上限周波数を計算せずに中心周波数を求めることも可能である。

さらに、本実施形態の異常診断は、エンベロープ処理が行われた周波数スペクトルに対してのみ適用されるものでなく、回転速度情報から回転部品の損傷に起因した周波数成分の有無を診断するいずれの手法にも適用可能である。

[0120] (第7実施形態)

次に、図15及び16を参照して、第7実施形態の異常診断装置について説明する。なお、第4実施形態と同等部分については同一符号を付して、説明を省略或いは簡略化する。

[0121] 図15に示されるように、異常診断装置は、機械設備60から発生する信号を検出する検出部70と、検出部70の出力した電気信号から機械設備60の異常等の状態を判定するために図11と同様な構成を有する信号処理部82及び機械設備60を駆動制御する制御部84とを備えた制御器80と、モニタ93や警報機94やレポート作成部95等の出力装置90とを備える。

[0122] 信号処理部82の比較判定部108は、転がり軸受62、歯車、車輪に起因した周波数成分と振動分析部106による振動の実測スペクトルデータの周波数成分とを比較照合する。本実施形態では、比較判定部108は、実測スペクトルデータの限定した周波数範囲から基準値(例えば、音圧レベル或いは電圧レベル)を算出する一方、図5及び図6に示す関係式を用いて転がり軸受や歯車の傷に起因する周波数(振動発生周波数)を計算し、実測スペクトルデータから振動発生周波数での音圧レベルを抽出して、基準値と比較している。さらに、比較判定部108は、判定結果に基づき、異常の有無及び異常部位の特定を行う。

[0123] なお、振動発生周波数の演算は、これより前に行ってもよく、以前に同様の診断を行っている場合には、内部データ保存部110に記憶し、そのデータを用いてもよい。また、算出に用いる各回転部品の設計諸元データは事前に入力記憶させておく。

[0124] そして、比較判定部108での判定結果は、メモリやHDD等の内部データ保存部110に保存されても良いし、データ伝送手段92を介して出力装置90へ伝送されてもよい。また、この判定結果を、機械設備60の駆動機構の動作を制御する制御部84

へ出力し、この判定結果に応じた制御信号をフィードバックするようにしてもよい。

[0125] また、出力装置90は、判定結果をモニタ93等にリアルタイムに表示してもよいし、異常が検出された場合にはライトやブザー等の警報機94を使って異常の通知を行なってもよい。

[0126] さらに、出力装置90は、信号処理部82で得られる、異常の有無、異常の部位、診断時のスペクトル波形(実測スペクトルデータ)のような診断結果を記憶する記憶部96と、診断結果を所定の形式で出力するデータ出力部97と、データ出力部97によって出力される出力結果を、少なくとも一つのプログラムに基づいてレポートを作成するレポート作成部95と、を備える。これにより、レポート作成部95は、診断結果に基づくレポートの作成作業を容易に行うことができる。

ここで、所定の形式とは、レポート作成部95で加工するために要求されている形式のことである。なお、対象データをすべて出力してレポート作成部95で選定・選択するようにしてもよいし、データ出力部97で対象データを選定・選択するようにしてから出力してもよい。

[0127] 次に、図16を参照して、振動信号を基にした異常診断の処理フローの具体例について説明する。

[0128] 本実施形態においても、図16の処理フローに示されるように、ステップS401～ステップS406は、第4実施形態のステップS101～ステップS106と同様に行われる。

[0129] 次に、図5及び図6に示す関係式から、回転速度信号に基づき各回転部品の異常に起因して発生する振動発生周波数を求め(ステップS407)、求めた周波数に対応する各回転部品の異常周波数帯域の音圧レベル(転がり軸受62の場合には、軸受傷成分 S_x 、即ち、内輪傷成分 S_i 、外輪傷成分 S_o 、転動体傷成分 S_b 及び保持器成分 S_c 、歯車の場合には、噛み合いに対応する歯車傷成分 S_g 、及び車輪等の回転体の場合には、回転体の摩耗やアンバランス成分 S_r)を求める(ステップS408)。

[0130] 一方、振動分析部106で得られた周波数スペクトルから異常診断に用いられる基準値(例えば、音圧レベル或いは電圧レベル)を算出する(ステップS409)。ここで、本実施形態の基準値は、任意の時間における実測スペクトルデータの限定した周波数範囲を用いて算出される。即ち、基準値は、所定の周波数範囲のスペクトルデータ

、例えば、DC成分等のノイズの影響を小さくするため、得られた周波数範囲から複数のスペクトル(例えば、上位10個と下位10個)を除いたものを用いて算出された実効値(周波数スペクトルの自乗平均の平方根)であってもよく、あるいは、実効値を基に、次式(1)や(2)に基づき算出されたものであってもよい。

$$(\text{基準値}) = (\text{実効値}) + \alpha \quad \cdots (1)$$

$$(\text{基準値}) = (\text{実効値}) \times \beta \quad \cdots (2)$$

α 、 β : データの種類によって可変な所定の値

また、実効値の代わりに、任意の時間における実測スペクトルデータの平均値やピーク値を用いて算出してもよい。

[0131] 次いで、ステップS408で算出された各回転部品の異常周波数帯域の音圧レベル(或いは電圧レベル)とステップS409で計算された基準値との比較を設計諸元の異なる各回転部品毎に分けて順番に行う(ステップS410)。全ての成分が一致しない時は回転部品に異常なしとして判断する(ステップS411)。一方、いずれかの成分が一致する場合には、異常有りと判断してその異常部位を特定する(ステップS412)と共に、その照合結果を制御部84や、モニタ93、警報機94等の出力装置90に出力する(ステップS413)。また、ステップS413では、ステップS411、S412で得られた診断結果が出力装置90の記憶部96に記憶される。そして、レポートを作成する場合には、記憶部96に記憶された診断結果をデータ出力部97に送り、データ出力部97は送られたデータから対象データを選定・選択する(ステップS414)。さらに、選択された対象データを、レポート作成プログラムを有するレポート作成部95に送って、診断結果に基づくレポートを作成する(ステップS415)。

[0132] このように本実施形態では、実測スペクトルデータの周波数成分と部品に起因した周波数成分とを比較照合する際、比較照合に用いられる基準値は、実測スペクトルデータの限定した周波数範囲に基づいた実効値、平均値、あるいはピーク値により算出されるようにしたので、DC成分等のノイズの影響を受け難くして診断精度を上げることができ、異常の有無及び異常部位を特定することができる。

[0133] さらに、本実施形態の異常診断装置及び異常診断方法によれば、信号処理部82で得られる、異常の有無、異常の部位、診断時のスペクトル波形(実測スペクトルデ

ータ)のような診断結果を記憶する記憶部96と、診断結果を所定の形式で出力するデータ出力部97と、データ出力部97によって出力される出力結果を、少なくとも一つのプログラムに基づいてレポートを作成するレポート作成部95と、を備えるので、大量に蓄積された診断結果を、必要に応じて対象となる箇所のデータを所定の形式で出力して、簡単にレポートを作成することができる。

その他の構成及び作用については、第4実施形態のものと同様である。

[0134] なお、本実施形態では、診断結果を記憶する記憶部96を出力装置90内に設けているが、記憶部96を制御器80内に設けて、レポートを作成する際に診断結果をデータ伝送手段92を介してデータ出力部97に送信してもよい。

[0135] (第8実施形態)

次に、図17～19を参照して、本発明の第8実施形態に係る異常診断装置及び異常診断方法について詳細に説明する。なお、第4実施形態と同等部分については、同一符号を付して説明を省略あるいは簡略化する。

[0136] 本実施形態は、複数の転がり軸受62、62を備えた機械設備120の異常診断装置において、センサ72を含んだ検出部とマイクロコンピュータ130からなる信号処理部とを組み合わせ、単一の処理ユニット140を転がり軸受62の軸受装置内に組み込んでいる。これにより、異常診断装置は管理を集中して行えるため、効率的な監視が可能である。また、単一の処理ユニットを軸受装置内に組み込むことで、装置全体がコンパクトになるといったメリットがあり好ましい。なお、この単一の処理ユニットは、機械設備内に組み込んでコンパクト化を図っても良く、また、複数の転がり軸受に対して単一の処理ユニットを構成するようにしても良い。

[0137] 例えば、図18に示される鉄道車両用軸受装置は、複列円錐ころ軸受62(11)を介して車軸13を鉄道車両用台車の一部を構成する軸受箱12に対して回転自在に支持しており、検出部70(31)、70(31)を軸受箱12のラジアル荷重の負荷圏領域に固定して、軸受箱12の振動を検出することで異常診断を行っている。このような場合にも、各検出部70(31)、70(31)からの電気信号を単一の処理ユニット140にて処理可能である。

その他の構成および作用については、第4実施形態のものと同様であり、第5～第

7実施形態のものにも適用される。なお、図19は、本実施形態を第7実施形態に適用した例を示すものである。

[0138] (第9実施形態)

次に、図20～図23を参照して、本発明の第9実施形態に係る異常診断装置及び異常診断方法について詳細に説明する。

[0139] 図20に示すように、一両の鉄道車両200は前後2つの車台によって支持され、各車台には4個の車輪204が取り付けられている。各車輪204の軸受箱には、圧電式加速度センサ等からなる検出部としての振動センサ201が取り付けられ、地面に垂直方向の振動加速度を出力する。なお、鉄道車両200の進行方向や車輪の軸方向の振動加速度を測定する振動センサをさらに取り付けてもよい。

[0140] 振動センサ201の出力は車両200の制御盤に設置された信号処理部である異常診断モジュール202により処理される。図21に示すように、異常診断モジュール202は、デジタル処理モジュール205を備えてデジタル処理により異常診断を行うものである。振動センサ201により検出される振動波形は、ローパスフィルタ(LPF) 207を介して、AD変換器(ADC) 208により離散値に変換され、CPU211に入力される。ここで、車輪204の異常であるフラットより発生する振動の周波数は、1kHzよりも低い周波数帯域にパワーが集中するとともに1kHzよりも高い範囲にも広がる。ローパスフィルタ207は、ノイズ成分が大きい1kHz以上の周波数を減衰させ、S/N比を向上させている。

[0141] また、エンコーダ等の回転速度センサ206により検出されたパルス信号は、波形整形回路209によってパルス整形され、タイマ・カウンタ(TCNT) 210によりパルスカウントを行うことで、回転速度信号がCPU211へ入力され、CPU211は、振動波形と回転速度信号をもとに異常診断を実行する。

[0142] また、CPU211により診断された診断結果は、伝送手段を構成する通信プロトコルIP212に基づき、例えば、USB等のシリアルインターフェース(SIO) 213より、ラインドライバ214を介して通信回線203へ伝送される。従って、本実施形態では、AD変換器208、タイマ・カウンタ210、CPU211、通信プロトコルIP212、シリアルインターフェース213、ラインドライバ214がデジタル処理モジュール205を構成する。

- [0143] CPU211は、回転速度センサ206により検出された回転速度信号が略一定の所定速度(本実施形態では、 $185\sim 370\text{min}^{-1}$)であるときに、サンプリング周波数 f_s と、サンプリング数 N_s を一定にした波形ブロックデータを処理して、車輪204のフラットの検出を行う。具体的には、 $f_s=2\text{kHz}$ 、 $N_s=2000$ 、とすると、ブロックデータの区間長=1secである。この1秒間にフラットによる振動波形パルスをカウントした回数と、回転速度センサ206で検出した車速から1秒間に車輪204が回転する回数とを比較することでフラットの検出を行っている。
- [0144] 車輪204でフラットが発生している状態での振動加速度は大きく、通常の車両の振動で起きる振動加速度の値は、それよりも小さいことが多い。また、レール継ぎ目の振動は、フラットと同等、若しくは、それよりも大きい振動加速度のレベルとなる。さらに、レールのカーブにおけるレールと車輪204の摩擦からくる振動加速度のレベルも、フラットやレール継ぎ目によるものと同等である。
- [0145] 一方、フラットは1回転で1回の衝撃が起るのに対して、レールの継ぎ目による衝撃の場合は、より長い周期で発生し、レール摩擦による衝撃の場合は、不規則に発生する。そこで、本実施形態では、フラット特有の振動加速度の閾値を越える衝撃(パルス)発生規則性に着目して、ほぼ一定速度における単位時間あたりの衝撃波回数をカウントし、そのカウント数がほぼ車輪の回転数に一致していれば、フラットが発生している可能性が高い、として異常診断を行う。
- [0146] 更に、本実施形態では、車両200に搭載されたセンサ201、206と異常診断モジュール202を用いて、同じ車輪204について繰り返し診断処理を行うアルゴリズムを設計し、パルス数のカウント数のバラツキやノイズの影響等を考慮した、統計的判断手法により異常診断の信頼性を向上させる。
- [0147] このような処理を行う異常診断方法について、図22のフローチャートを参照して詳細に説明する。
- [0148] まず、振動センサ201によって検出された信号は、AD変換器208によってデジタル信号に変換されるとともに(ステップS500)、回転速度センサ206から回転速度信号が入力される。本実施形態の異常診断は、回転速度が $185\sim 370\text{min}^{-1}$ の間に、おける略一定速度で走行中の区間に実行されるため、データの区間長における回

転速度が急な加減速により15%以上変化しているかどうか判断する(ステップS501)。そして、15%以上変化する場合には、内部出力“N”を出力して異常診断は行わない(ステップS502)。

[0149] 一方、略一定速度で走行していると判断される場合は、AD変換器208によって変換されたデジタル信号を絶対値化して全波整流波形とし(ステップS503)、閾値を超えたデータをピークホールド処理により一定時間(τ)だけ閾値を超えた値に保持する(ステップS504)。この保持時間(τ)は、車輪の回転速度によって決まり、車輪1回転分よりも短い値にする。この絶対値化して一定時間保持するピークホールド処理は、安定なピーク計測を可能とする。

[0150] そして、パルスが閾値を越えた回数をイベントカウント処理としてカウントして(ステップS505)、カウント数が車輪の回転数と一致するかどうか判断する(ステップS506)。カウント数が、車輪の回転数と一致していると認められる場合、フラット有りと判定して内部出力“F”(Flat)を出力し(ステップS507)、一致しない場合は、フラット無しと判定して“G”(Good)を外部出力する(ステップS508)。なお、本実施形態では、レール継目の影響を受けることもあるので、(車輪回転数+1)のカウント数も車輪回転数に一致したものとみなす。

[0151] 例えば、車輪の回転速度は略一定の 185min^{-1} 、即ち、毎秒約3回転であって、図23(a)は1秒間の波形で3回の衝撃波が発生している様子を示している。この異常診断では、ピーク保持時間 τ を30msとし、衝撃波の絶対値が一旦、閾値を越えたら30msの間は、元のデータに係らず、閾値を越える値に保持している。最初に閾値を越えた時点から30msを過ぎたら同じ処理を繰り返し、データが1秒分に達したら変換された波形(閾値保持波形)から閾値を越えた回数をカウントする。図23(a)の波形に対して、絶対値処理とピークホールド処理を行ったものが図23(b)の波形である。

[0152] さらに、本実施形態では、信頼性の高い診断結果が得られるように、1秒に1回得られる上記出力を用いて、例えば、次のいずれかの条件に基づく簡単な統計的判断を行う(ステップS509)。

(1)、連続3回の“F”を出力した。

(2)、過去10回の有効データの内、6回以上“F”を出力した。

この(1)、(2)に該当する場合は、確実にフラットを発生している車輪と判断して、最終的に外部出力として“F”を出力し(ステップS510)、(1)、(2)以外の場合は外部出力として“G”を出力する(ステップS511)。

- [0153] なお、フラットを起こしていないのに“F”を出力する場合があるのは、車輪のレール摩擦音などの雑音の影響や、フラットを起こしている車輪から車軸、又はレールを通して正常な車輪に伝播する影響による場合等である。この場合は、フラットを起こしている車輪に比べて“F”を出力する頻度は少ないので、上記(1)、(2)のような複数回の統計処理によって正確な判別が可能である。
- [0154] また、ステップS510で、外部出力として“F”が出力された場合には、シリアルインターフェース213、ラインドライバ214から通信回線203を通じて異常信号が出力され、警報機等の出力装置から車輪のフラット等の異常発生の警報を行う。
- [0155] 従って、本実施形態の異常診断装置及び異常診断方法によれば、車輪204の軸受箱に取り付けられた振動センサ201による振動加速度の波形と回転速度センサ206による車輪204の回転速度信号から、車輪204がN回転する時間に、低域通過フィルタリングされた単位時間当たりの振動加速度の波形において、あらかじめ設定された閾値を越えたら、回転速度に応じてある時間だけ閾値を越えた状態を保持した波形において、閾値を越えた回数をカウントし、そのカウント回数が車輪の回転数に一致したと認識することによって車輪のフラット発生等の異常発生の警報を行うので、比較的簡単な回路やソフトで、回転部品の異常を正確に特定することができる。
- [0156] また、本実施形態では、フラットの波形を包絡線検波波形に変換せずに、絶対値化した全波整流波形に基づいて、異常診断が行われるので、演算量が少なく簡単に診断することができる。
- [0157] なお、本実施形態では、ローパスフィルタ(LPF)207を振動センサ201とAD変換器208との間に挿入したが、センサ内にLPFを内蔵しているタイプでは、このLPF207はLCフィルタ等で簡単に構成することができ、更に、フラット以外の周波数成分を抑える場合には、デジタル処理モジュール205内にデジタルフィルタを設けることもできる。その場合、デジタルフィルタはCPUのソフトとして実現することも可能である。

[0158] (第10実施形態)

次に、本発明の第10実施形態の異常診断装置と異常診断方法について図24及び図25を参照して詳細に説明する。第9実施形態では、A/D変換処理後のデジタル信号にビット処理によるピークホールドを行ったのに対して、本実施形態ではA/D変換処理前のアナログ信号段階でピークホールド処理が行われる。なお、第9実施形態と同等部分については同一符号を付して、説明を省略あるいは簡略化する。

[0159] 第10実施形態の診断モジュール220は、図24の診断モジュールのブロック図に示すように、振動センサ201とADC208の間に、アナログ処理のエンベロープ回路215を入れた構成である。エンベロープ回路215は、ローパスフィルタ、絶対値回路としての全波整流器217と、アナログ用のピークホールド回路218等により構成されている。

[0160] 従って、本実施形態では、ステップS503及びステップS504の絶対値処理及びピークホールド処理は、A/D変換(ステップS500)前に行われ、デジタル処理部219は、第9実施形態のステップS501、S502、S505～S511と同様の処理を行い、一定時間内の閾値を越えた回数をカウントして、車輪の回転速度に応じた値であれば、フラットとして警告信号を出力する。

[0161] 本実施形態では、第9実施形態に比較して、アナログ回路が別途必要になるが、デジタル化した後の処理が簡単になり、ピークホールド回路を入れたAD変換器208におけるA/D変換のサンプリングレートも低く済ませることができる。

[0162] 車輪フラットでは、1kHz程度までの帯域を有する衝撃波形であるから、第9実施形態のようにローパスフィルタ207を通過させただけの波形であると、2kHz位のサンプリングレートを取らないと、衝撃加速度のピークが下がってしまうことが懸念されるが、本実施形態のようにAD変換器208の前段のアナログ回路でピークホールド回路218を入れておけば、200Hz程度のサンプリングでも車輪フラットの検出には、十分な速度とすることができる。

[0163] この場合のピークホールド回路218の時定数(τ)も、数ms～数十msの間の車速範囲に合わせて適切に選択される。なお、全波整流回路217によりエンベロープ検波される波形に対しても、AD変換器208の前段にローパスフィルタ207を入れてノイ

ズをカットするのが望ましい。

[0164] また、本実施形態では、エンベロープ回路215の前段にハイパスフィルタ(HPF)216が設けられている。ハイパスフィルタ216を入れるのは、DC成分とそれにごく近い低周波成分を取り除くためであって、単なるACカップリング・コンデンサでも構わない。このハイパスフィルタ216によってエンベロープ波形のDC成分によるリップルを抑えることができる。

[0165] また、図25の点線で示すような波形では、リップルの影響により閾値を越える回数のカウントに誤動作を生ずる場合があるが、閾値を立上がり V_H と、立ち下がり V_L のように閾値の高さを変えておくことにより、これを避けることができる。本実施形態では、図25のように、立上がり時に V_H を横切り、次に V_H よりも低く設定した V_L を立ち下がり時に横切ったら、初めて1回のカウントとすれば、点線のような波形においても正確にカウントすることができる。勿論、このような処理はハードでカウントしても等価である。

なお、その他の構成及び作用については第9実施形態のものと同様である。

[0166] (第11実施形態)

次に、本発明の第11実施形態の異常診断装置と異常診断方法について、図26を参照して詳細に説明する。本実施形態は、第10実施形態におけるエンベロープ回路をデジタル処理にて置き換えたものである。なお、第10実施形態と同等部分については同一符号を付して、説明を省略あるいは簡略化する。

[0167] 第11実施形態の診断モジュール230は、図26に示すように、AD変換器208の後段のデジタル処理部231はDSP等の高速プロセッサで構成され、デジタル・ハイパスフィルタ(HPF)235により低周波成分を除去して、エンベロープ処理回路232のヒルベルト変換フィルタ233による実数部、虚数部の複素信号から、2乗和の平方根の演算を行う振幅復調234により振幅を復調して包絡線波形を得て、更に、デジタルLPF236により残存するノイズをカットして、閾値カウント237により回数カウントを行い、診断部238で車輪フラットの有無の判定を行う。

[0168] 以上のように構成された本実施形態のデジタル処理部231は、DSP等の高速プロセッサを使用して包絡線波形を得るソフトウェアを、診断時間に支障を与えずにリアルタイムに実行することが可能である。前段のハイパスフィルタ235により低周波成分

を除去した図27(a)に示す入力波形に対して、エンベロープ処理232により包絡線波形を発生させ、ローパスフィルタ236によりノイズ除去を行った波形が、図27(b)の波形である。このように処理された波形に対して閾値カウント237と診断部238により、第10実施形態と同様に車輪フラット等の判定処理を行う。具体的に、図27(b)に示す波形により、1秒間に3回の衝撃波が発生しているのがわかる。

なお、その他の構成及び作用については第10実施形態のものと同様である。

[0169] なお、本発明は上記実施形態に限定されるものでなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において適宜変更可能である。

本発明の機械設備は、異常診断対象である回転或いは摺動する部品を備えたものであればよく、鉄道車両用軸受装置、風車用軸受装置、工作機械主軸用軸受装置等を含む。

[0170] また、回転或いは摺動する部品としては、転がり軸受、歯車、車軸、車輪、ボールねじ等の回転部品や、リニアガイド、リニアボールベアリング等の摺動部品であってもよく、損傷によって周期的な振動を発生する部品であれば良い。また、回転部品の損傷に起因する周波数成分を算出するための速度信号としては、回転速度信号が用いられたが、摺動部品の場合の速度信号としては、移動速度信号が用いられる。

なお、軸受箱に固定される転がり軸受の外輪は、静止部材に対して相対的に回転或いは摺動する部品である転がり軸受の一部に含まれる。

[0171] さらに、検出部によって検出される信号は、音、振動、超音波(AE)、応力、変位、歪み等を含み、これらの信号では、回転或いは摺動部品を含む機械設備に欠陥または異常がある場合に、その欠陥または異常を示す信号成分を含む。

[0172] また、上記実施形態は、種々の実施形態を適宜組み合わせて実施することができる。

実施例

[0173] (試験1)

以下、本発明の第1実施形態に係る異常診断装置を用いて、転がり軸受の異常診断を二度行った。実施例1及び2の転がり軸受としては、外径62mm、内径30mm、幅16mm、玉数7の玉軸受が使用され、振動センサが軸受箱に固定され、温度セン

サが軸受の外輪外周面に取付けられた。内輪は 3000min^{-1} で回転され、軸受にはラジアル荷重が負荷されている。

[0174] 表1及び表2は、実施例1における図3及び図4に対応する各計測点A, B, Cでの振動と温度の計測値及び時間に対する変化率(前回の計測値に対する倍率)を示し、表3及び表4は、実施例2における各計測点A, B, Cでの振動と温度の計測値及び時間に対する変化率を示す。また、表1～表4は、振動と温度の計測値(表1, 表3)及び変化率(表2, 表4)に対する規定値(設定値)と併せて、振動波形をエンベロープ分析した結果から軸受の損傷(剥離)に起因する周波数成分の有無を示す。

[0175] [表1]

	A点	B点	C点	規定値	損傷成分
振動 (G)	0. 2 4	0. 6 7	1. 5	0. 4 8	無
温度 (℃)	1 4 3	1 4 1	2 0 5	1 7 2	

[0176] [表2]

	A—B間	B—C間	規定値	損傷成分
振動	2. 8	2. 3	2	無
温度	0. 9 9	1. 4	1. 2	

[0177] [表3]

	A点	B点	C点	規定値	損傷成分
振動 (G)	0. 3 2	0. 7 4	1. 6 8	0. 6 4	有
温度 (℃)	1 1 5	1 1 8	1 1 2	1 5 0	

[0178] [表4]

	A—B間	B—C間	規定値	損傷成分
振動	2. 3	2. 3	2	有
温度	1. 0	0. 9	1. 3	

[0179] 実施例1では、表1に示すように、B点, C点ともに振動の計測値が規定値を超え、且つC点では温度の計測値も規定値を超えている。さらに、振動には軸受の損傷成分が無いことから、この軸受は焼付き異常が生じていることがわかり、緊急に交換する必要があることがわかる。なお、実施例1は、表2の変化率からも同様の判定を行うこ

とができる。

[0180] また、実施例2では、表3に示すように、B点、C点ともに振動の計測値が基準値を超えているが、温度に変化は認められなかった。また、振動には軸受の損傷成分が存在していることから、この軸受は剥離異常が発生していることがわかる。なお、実施例2は、表4の変化率からも同様の判定を行うことができる。

[0181] 従って、本実施例では、振動と温度の計測値または変化率を組み合わせることで異常の有無を複数回診断して判定するため、従来のような突発的なノイズにより急激に計測値が上昇しても異常と判定せず、従来よりも信頼度の高い異常診断が可能となる。

[0182] (試験2)

ここで、本発明の第2実施形態の異常診断装置を用いた場合の診断結果の信頼性を確認するため、以下の試験2を行った。試験2は、外輪軌道面に欠陥がある円すいころ軸受(外径=245mm, 内径=130mm, 幅=170mm)を軸受箱のハウジングに組み込み、 150min^{-1} で内輪を回転させた時に発生する振動をハウジングに取り付けた圧電式絶縁型加速度センサにより検出し、増幅後の信号を周波数分析(エンベロープ分析)して比較した。

[0183] 図28は、軸受の内輪が 150min^{-1} になった時に、軸受に回転を伝達する駆動モータを非通電状態(OFF状態)として軸受を慣性回転させたときのハウジングの振動を周波数分析(エンベロープ分析)した結果の一例を示したものである。また、図29は、軸受の内輪が 150min^{-1} になった時に、軸受に回転を伝達する駆動モータを通電状態(ON状態)として軸受を回転駆動させたときのハウジングの振動を周波数分析(エンベロープ分析)した結果の一例を示したものである。

[0184] 図28及び図29から、駆動モータを非通電状態(OFF状態)として軸受を慣性回転させたときの振動波形には外輪損傷に起因した複数の周波数成分が顕著に存在しているが、駆動モータを通電状態(ON状態)として軸受を回転駆動させたときの振動波形には、駆動モータの駆動による電磁成分の影響が大きく前述した顕著なノイズ成分が発生しているのが判る。

[0185] 従って、回転状態判定部により回転駆動装置の非運転時の慣性回転領域内で振

動を検出することにより、上記振動による外乱ノイズの影響を受けることなく高SN比な異常診断が可能となることが分かる。

[0186] (試験3)

次に、本発明の第3実施形態の異常診断装置を用いた場合の診断結果の信頼性を確認するため、以下の試験3を行った。試験3は、外輪軌道面に欠陥がある円すいころ軸受(外径=208mm, 内径=130mm, 幅=152mm)を軸受箱のハウジングに組み込み、 $50\sim 2000\text{min}^{-1}$ で内輪を回転させた時に発生する振動をハウジングの負荷圈に取り付けた圧電式絶縁型加速度センサにより検出し、増幅後の信号を周波数分析(エンベロップ分析)した。

[0187] 欠陥検知の可否は、エンベロープ分析後の周波数分析結果において、図5の式を用いて算出された、各回転速度毎の外輪欠陥に起因した特徴周波数成分の出現の有無から判定した。

[0188] 図30は、軸受の内輪が 50min^{-1} 、 100min^{-1} 、 150min^{-1} 、 300min^{-1} 、 650min^{-1} 、 1000min^{-1} 、 1500min^{-1} 、 1600min^{-1} で回転している時のハウジングの振動を周波数分析(エンベロープ分析)した結果の例である。

[0189] ここで、実線は実測した振動データに基づくエンベロープ周波数スペクトルであり、点線は図5に示した軸受の設計諸元に基づく外輪損傷に起因した周波数成分を表している。この結果より、内輪を 50min^{-1} 、 1600min^{-1} で回転させた時には実測スペクトルに顕著なピークが存在していないが、 $100\text{min}^{-1} \sim 1500\text{min}^{-1}$ では、外輪損傷に起因した周波数成分上に顕著なピークが存在しており、外輪が損傷していることがわかる。

[0190] 表5は、上記分析に基づく異常の有無の判定結果を回転速度毎にまとめたものである。○は、上記分析において外輪欠陥に起因した特徴周波数成分が出現した場合を、×は、出現していない場合を示している。

[0191] [表5]

[illegible]

[0192] 以上の分析結果より、回転速度が $100\text{min}^{-1} \sim 1500\text{min}^{-1}$ 時の振動波形には外輪損傷に起因した複数の周波数成分が顕著に出現しているが、この回転速度領域以外の振動波形には、特徴周波数成分が出現していないことがわかる。

従って、円すいころ軸受が上記回転速度領域内で回転する時に振動を検出することで、外乱ノイズ等の影響を受けることなく高SN比で異常診断を行うことができる。

[0193] (試験4)

以下、本発明の第4実施形態に係る異常診断装置及び方法を用いた回転部品の異常診断について具体例を示す。

[0194] 図31は、実施例3として、外輪軌道面に欠陥をつけた単列深溝軸受を 1500min^{-1} で回転させた時のハウジングの振動をエンベロープ処理後に周波数分析を行った結果を示す。図において、実線は、実測した振動データに基づくエンベロープ周波数スペクトルを示し、点線は基準値を示している。

[0195] 図31の結果から、周波数スペクトルには基準値を越えているピーク成分が存在し、そのピーク間の周波数値は、外輪損傷に起因した周波数成分(64.4Hz)と一致していることから、軸受の外輪が損傷していると診断することができる。

[0196] 図32は、実施例4として、正常の単列深溝軸受を 1500min^{-1} で回転させた時のハウジングの振動をエンベロープ処理後に周波数分析を行った結果を示す。この結果、周波数スペクトルには基準値を越えるピーク成分は存在せず、軸受に異常がないことがわかる。

[0197] 図33は、実施例5として、外輪軌道面に欠陥をつけた単列深溝軸受が 2430min^{-1} で実際に回転する場合のハウジングの振動をエンベロープ処理後に周波数分析を行った結果を示す。ただし、算出に用いる回転速度データが 2400min^{-1} で、実際の回転速度とズレを生じており、一点鎖線は、回転速度 2400min^{-1} に基づく外輪損傷に起因した周波数成分を示している。

[0198] 図33に見られるように、実回転速度と診断に用いた回転速度との差異が大きいと発生周波数の高調波成分に大きなズレが生じ、診断精度に影響を与えることがわかる。しかしながら、本発明の診断装置及び方法を適用すれば、ピーク間の周波数値を用いて、異常の有無及び部位の特定を行うので、実回転速度とのズレの影響を小

さくし、精度の良い診断が行われることがわかる。

[0199] (試験5)

以下、本発明の第5実施形態に係る異常診断装置及び方法を用いた回転部品の異常診断について具体例を示す。

[0200] 図34は、外輪軌道面に欠陥をつけた単列深溝軸受が 2430min^{-1} で実際に回転する場合のハウジングの振動をエンベロープ処理後に周波数分析を行った結果を示す。ただし、算出に用いる回転速度データが 2400min^{-1} で、実際の回転速度とズレを生じている。図において、実線は、実測した振動データに基づくエンベロープ周波数スペクトルを示し、点線は基準値を示している。さらに、各網掛範囲は回転速度 2400min^{-1} に基づく外輪損傷に起因した周波数成分とその高調波を示しており、周波数帯域に対応して比較照合の許容幅を大きくしている。この結果、基準値を越えるピークが可変な許容幅を持った外輪損傷に起因した周波数成分と一致していることから、軸受の外輪が損傷していると診断することができる。

[0201] 一方、図35は、図34の場合と同条件で比較照合の許容幅を固定(1Hz)にした場合を示している。この結果、基準値を越えるピークが外輪損傷に起因した周波数成分と一致していないため、異常なしと判断してしまう虞がある。つまり、実際の回転速度と診断に用いた回転速度の差異が大きいと発生周波数の高調波成分に大きなズレが生じ、診断精度に影響を与えることが分かる。

これらの結果より、第5実施形態に基づく異常診断を行うことで、回転部品の異常の有無や異常部位の特定を精度良く行うことができることがわかる。

[0202] (試験6)

次に、本発明の第6実施形態に係る異常診断装置及び方法を用いた回転部品の異常診断について具体例を示す。

回転部品として、内外径寸法が同一(軸受外径:220mm、軸受内径:120mm、軸受幅:150mm)であるが内部設計諸元が異なる3種類(A, B, C)の円すいころ軸受を用意し、これらの軸受の各外輪軌道面に欠陥をつけ、個々の軸受をハウジングに組み込んだ。そして、 200min^{-1} で内輪を回転させた時に発生する振動をハウジングに取り付けた圧電式絶縁型加速度センサにより検出し、増幅後の信号を周波数分析

(エンベロープ分析)し、第6実施形態における処理フローをもとに比較した。

- [0203] 図36は、3種類の軸受を回転させた時のハウジングの振動についてエンベロープ処理後周波数分析を行った結果である。ここで、実線は測定した振動データに基づくエンベロープ周波数スペクトルであり、点線は基準値を示している。
- [0204] さらに、各網掛範囲は回転速度 200min^{-1} と3種類(A, B, C)の軸受の内部諸元に基づく外輪損傷に起因した周波数成分の下限周波数と上限周波数との中心周波数に対する許容幅とその高調波幅を示しており、周波数帯域に対応して比較照合の許容幅を大きくしている。
- [0205] この試験では、軸受諸元に基づく外輪損傷に起因した周波数成分を図5より算出し、この下限周波数と上限周波数との中心周波数 f_{CL1} を求め、さらに、中心周波数 f_{CL1} に対する許容幅 Δf を設ける。また、許容幅 Δf を 2Hz とし、この許容幅を周波数帯域に対応して大きく設定している。
- [0206] これらの結果より、いずれの軸受においても周波数は異なるが基準値を越えるピークが複数出現しており、また、それらのピークは網掛範囲で示した外輪損傷に起因した周波数に含まれていることから、諸元が異なるいずれの軸受も外輪が損傷していると診断することができる。
- [0207] 一方、図37は、損傷がない正常な軸受に第6実施形態の異常診断を適用した場合を示している。なお、この軸受の諸元は、軸受Aと同様である。
- この図37に示す結果から、正常な軸受においては、基準値を越える顕著なピークが網掛範囲で示した外輪損傷に起因した周波数に含まれていないため、外輪には損傷がないと診断することができる。
- [0208] (試験7)
- 次に、内部設計諸元が同一であるが回転速度が僅かに変動する場合に、第6実施形態の処理フローを用いて試験を行う。
- [0209] 図38は、円すいころ軸受の外輪軌道面に欠陥をつけ、内輪を 200min^{-1} と 170min^{-1} で回転させた時に発生する振動をハウジングに取り付けた圧電式絶縁型加速度センサにより検出し、増幅後の信号を周波数分析(エンベロープ分析)し比較した結果である。また、図38において、各網掛範囲は回転速度変動の下限回転速度と上

限回転速度に対応した軸受内部諸元に基づく外輪損傷に起因した周波数成分の中心周波数に対する許容幅とその高調波幅を示しており、周波数帯域に対応して比較照合の許容差を大きくしている。また、この網掛範囲は回転速度の変動幅に依存しており、回転変動幅が大きいと網掛範囲が広くなるように設定されている。

[0210] この状態で網掛範囲に含まれる成分の有無により異常診断を行ってもよいが、網掛範囲が広くなると、軸受損傷成分以外の周波数成分も多く含まれるため、診断精度が悪くなる可能性がある。このため、本試験では、この対応した網掛範囲を2つの領域(A, B)に分割し、その領域幅に対応する中心周波数($f_{CL,A}$, $f_{CL,B}$)を算出し、さらにその中心周波数に対する許容幅 Δf を設ける。

[0211] 具体的に、本試験では、 $170 \sim 200 \text{min}^{-1}$ の回転速度の変動幅に基づいて、下限及び上限周波数とその中心周波数を求めており、許容幅 Δf は2Hzとし、この許容幅を周波数帯域に対応して大きく設定している。

[0212] この結果、回転速度が 200min^{-1} の場合には、領域Aには損傷に起因したピークは出現していないが、領域Bにピークが出現しているため外輪損傷と判定することができる。一方、回転速度が 170min^{-1} の場合には、領域Aに損傷に起因したピークが出現しているため、領域Bにピークが出現していなくても外輪損傷と判定することができる。

[0213] (試験8)

次に、本発明の第7実施形態に係る異常診断装置及び方法を用いた回転部品の異常診断について具体例を示す。

[0214] 図39は、外輪軌道面に欠陥をつけた円すいころ軸受を 200min^{-1} で回転中にノイズが入った時のハウジングの振動をエンベロープ処理後に周波数分析を行った結果を示す。図において、実線は、実測した振動データに基づくエンベロープ周波数スペクトルを示し、点線は基準値(ここでは、実効値+6dB)、一点鎖線は回転速度 200min^{-1} に基づく外輪損傷に起因した周波数成分($f_1 \sim f_5$)を示している。さらに、網掛範囲は基準値を算出するために用いた周波数範囲を示しており、ここでは、 $f_1 - 3 \text{Hz} \sim f_5 + 3 \text{Hz}$ である。この結果より、基準値を越えるピークが外輪損傷に起因した周波数成分と一致していることから、軸受の外輪が損傷していると判断することができる。

[0215] 一方、図40は、図39の場合と同条件で得られた周波数分析の結果に対して、基準値を算出するために用いた周波数範囲を全領域にした場合を示している。図40では、外輪損傷に起因した周波数成分が基準値を超えていないため、異常なしと判断してしまう虞がある。従って、図39及び図40の結果から、比較照合に用いる基準値を実測スペクトルデータの限定した範囲から算出することにより、ノイズの影響を受け難く、精度の良い診断が可能であることが確認される。

[0216] 本発明を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

本出願は、2004年9月13日出願の日本特許出願(特願2004-265009)、
2004年9月13日出願の日本特許出願(特願2004-265219)、
2005年1月11日出願の日本特許出願(特願2005-004128)、
2005年1月26日出願の日本特許出願(特願2005-018338)、
2005年1月26日出願の日本特許出願(特願2005-018339)、
2005年1月26日出願の日本特許出願(特願2005-018340)、
2005年6月8日出願の日本特許出願(特願2005-168204)、
2005年6月16日出願の日本特許出願(特願2005-176505)、
2005年6月16日出願の日本特許出願(特願2005-176507)、に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

産業上の利用可能性

[0217] 鉄道車両の車軸やギアボックス或いは発電用風車の減速機のような、機械設備に用いられる回転或いは摺動する部品の異常を、機械設備を分解することなく実稼動状態で、診断精度を確保しながら診断することができる。

請求の範囲

- [1] 静止部材に対して相対的に回転或いは摺動する部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、
- 前記回転或いは摺動する部品又は前記静止部材に固定され、振動センサ、音響センサ、超音波センサ及びAEセンサの少なくとも一つの振動系センサと温度センサとを有する検出部と、
- 該検出部の出力した検出信号から前記部品の状態を判定する信号処理部と、
- を備え、
- 該信号処理部は、前記振動系センサによる計測結果と前記温度センサによる計測結果との組み合わせに基づいて、前記部品の異常の有無、或いは該異常の有無及び損傷の程度を判定することを特徴とする異常診断装置。
- [2] 前記振動系センサ及び前記温度センサによる計測値又は該計測値の時間に対する変化率が少なくとも一回求められ、
- 前記信号処理部は、前記計測値又は前記変化率と予め設定しておいた各規定値とを比較することにより、前記部品の異常の有無、或いは該異常の有無及び損傷の程度を判定する異常判定部を有することを特徴とする請求項1に記載の異常診断装置。
- [3] 静止部材に対して相対的に回転或いは摺動する部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、
- 前記回転或いは摺動する部品を駆動する駆動装置と、
- 前記部品又は前記静止部材に固定され、振動センサ、音響センサ、超音波センサ及びAEセンサの少なくとも一つの振動系センサと温度センサの少なくとも一つを有する検出部と、
- 該検出部の出力した検出信号から前記部品の状態を判定する信号処理部と、
- を備え、
- 該信号処理部は、前記駆動装置の非通電時における前記部品の所定の速度領域内での慣性移動時に、前記検出部による振動又は温度の検出信号に基づいて前記部品の異常を診断することを特徴とする異常診断装置。

- [4] 静止部材に対して相対的に回転する部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、
前記部品を回転駆動する駆動装置と、
前記部品又は前記静止部材に固定され、振動センサ、音響センサ、超音波センサ及びAEセンサの少なくとも一つの振動系センサと温度センサの少なくとも一つを有する検出部と、
該検出部の出力した検出信号から前記部品の状態を判定する信号処理部と、
を備え、
該信号処理部は、前記部品が 100min^{-1} 以上 1500min^{-1} 以下の回転速度領域内で回転する時、前記検出部による振動又は温度の検出信号に基づいて前記部品の異常を診断することを特徴とする異常診断装置。
- [5] 前記信号処理部は、前記駆動装置の非通電時における前記部品の前記回転速度領域内での慣性回転時に、前記検出部による振動又は温度の検出信号に基づいて前記部品の異常を診断することを特徴とする請求項4に記載の異常診断装置。
- [6] 前記駆動装置は通電及び非通電を繰り返して用いられると共に、該駆動装置の非通電時に前記部品が慣性移動可能であることを特徴とする請求項3又は5に記載の異常診断装置。
- [7] 前記駆動装置の非通電時の前記部品の慣性移動状態を該駆動装置のOFF信号に基づいて検出することを特徴とする請求項3,5及び6のいずれかに記載の異常診断装置。
- [8] 前記駆動装置の回転速度を検出する回転速度センサを備え、該回転速度センサによる回転速度の検出信号と前記検出部による振動又は温度の検出信号とを連動して前記部品の異常を診断することを特徴とする請求項3～7のいずれかに記載の異常診断装置。
- [9] 前記信号処理部は、回転速度信号に基づき算出した前記部品の損傷に起因した周波数成分と前記振動系センサにより検出された信号に基づく実測データの周波数成分とを比較する比較照合部と、該比較照合部での比較結果に基づき、前記部品の異常の有無の判定や損傷部位を特定する異常判定部とを備えていることを特徴と

する請求項1～8のいずれかに記載の異常診断装置。

- [10] 前記信号処理部は、前記振動系センサにより検出された信号波形から不要な周波数帯域を除去するフィルタ処理部と、前記フィルタ処理部から転送されたフィルタ処理後の波形の絶対値を検波するエンベロープ処理部と、前記エンベロープ処理部から転送された波形の周波数を分析する周波数分析部と、を備えていることを特徴とする請求項9に記載の異常診断装置。
- [11] 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、
前記機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
前記電気信号の波形の周波数分析を行い、該周波数分析で得られたスペクトルに基づき算出した基準値より大きい該スペクトルのピークを抽出し、該ピーク間の周波数と回転速度信号或いは移動速度信号に基づき算出した前記部品の損傷に起因する周波数成分とを比較照合し、その照合結果に基づき前記部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、
を備えたことを特徴とする異常診断装置。
- [12] 前記信号処理部は、前記検出された信号に増幅処理とフィルタ処理の少なくとも一方を施し、その処理された波形にエンベロープ処理を行うことを特徴とする請求項11に記載の異常診断装置。
- [13] 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、
前記機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
前記電気信号の単位時間当たりの波形が閾値を越えた衝撃波の頻度と、回転速度信号或いは移動速度信号に基づき、前記部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、
を備えたことを特徴とする異常診断装置。
- [14] 前記信号処理部は、前記電気信号の波形をフィルタ処理し、全波整流波形に変換

した波形に対して、前記閾値を越えるたびに、前記回転速度信号に応じた所定の時間、前記閾値を越える値に保持するように変換した波形を構成し、該波形が所定の回転数あたりに前記閾値を越える回数によって前記部品に異常を生じた可能性を知らせることを特徴とする請求項13に記載の異常診断装置。

- [15] 前記信号処理部は、前記閾値を保持するように変換した波形が所定の回転数あたりに前記閾値を越える回数によって前記部品に異常を生じた可能性の真偽を、複数回の統計的判断で判断することを特徴とする請求項14に記載の異常診断装置。
- [16] 前記信号処理部は、前記部品の回転速度が略一定の場合に実行されることを特徴とする請求項11～15のいずれかに記載の異常診断装置。
- [17] 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、
前記機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
前記電気信号の波形の周波数分析を行い、該周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と前記部品に起因した周波数成分とを可変な許容幅を持って比較照合し、その照合結果に基づき前記部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、
を備えることを特徴とする異常診断装置。
- [18] 回転部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、
前記機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
前記電気信号の波形の周波数分析を行い、該周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と前記回転部品に起因した周波数成分とを許容幅を持って比較照合し、その照合結果に基づき前記回転部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、
を備える異常診断装置であって、
前記許容幅は、前記回転部品の回転速度と前記回転部品の設計寸法諸元とから算出される上限値と下限値を有する領域を少なくとも一つの領域に分割し、該各分

割領域の中心値を求め、該中心値に対して与えられる任意の大きさの少なくとも一つの許容幅であり、

前記信号処理部は、前記実測スペクトルデータの周波数成分と前記回転部品に起因した周波数成分とを、前記少なくとも一つの許容幅毎に比較照合することを特徴とする異常診断装置。

- [19] 前記許容幅は、前記回転部品が互いに異なる設計寸法諸元を有する複数の回転部品を備える場合と、前記回転部品の回転速度が変動した場合の少なくとも一方において、与えられることを特徴とする請求項18に記載の異常診断装置。
- [20] 前記許容幅は、前記周波数成分が高調波成分となるにつれて大きくなることを特徴とする請求項17～19のいずれかに記載の異常診断装置。
- [21] 前記許容幅は、前記周波数成分の周波数帯域に応じて増減することを特徴とする請求項17から20のいずれかに記載の異常診断装置。
- [22] 前記許容幅は、回転速度に応じて増減することを特徴とする請求項17または18に記載の異常診断装置。
- [23] 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、
前記機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、
前記電気信号の波形の周波数分析を行い、該周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と前記部品に起因した周波数成分とを比較照合し、その照合結果に基づき前記部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、を備え、
前記比較照合に用いられる基準値は、前記実測スペクトルデータの限定した周波数範囲に基づいて算出されることを特徴とする異常診断装置。
- [24] 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断装置であって、
前記機械設備から発生する信号を電気信号として出力する少なくとも一つの検出部と、

前記電気信号の波形の周波数分析を行い、該周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と前記部品に起因した周波数成分とを比較照合し、その照合結果に基づき前記部品の異常の有無及び異常部位を判定する信号処理部と、

該信号処理部にて診断された診断結果を記憶する記憶部と、

前記診断結果を所定の形式で出力する出力部と、

該出力部によって出力される出力結果を、少なくとも一つのプログラムに基づいてレポートを作成するレポート作成部と、

を備えることを特徴とする異常診断装置。

- [25] 前記検出部は、前記機械設備から発生する振動を検出するセンサに加えて、前記機械設備の温度を検出する温度センサと前記回転部品の回転速度を検出する回転速度センサとの少なくとも一方が単一の筐体内に收容される一体型センサを有していることを特徴とする請求項11～24のいずれかに記載の異常診断装置。
- [26] 前記機械設備は、前記回転部品である軸受及び該軸受を固定する軸受箱を備え、
- 前記一体型センサは、前記軸受箱の平坦部に固定されることを特徴とする請求項25に記載の異常診断装置。
- [27] 前記信号処理部による判定結果を伝送するデータ伝送手段を有することを特徴とする請求項1～26のいずれかに記載の異常診断装置。
- [28] 前記信号処理部による処理、及び前記判定結果を制御系に出力する処理を行なうマイクロコンピュータを具備したことを特徴とする請求項1～27のいずれかに記載の異常診断装置。
- [29] 前記機械設備は鉄道車両用軸受装置であることを特徴とする請求項1～28のいずれかに記載の異常診断装置。
- [30] 前記機械設備は風車用軸受装置であることを特徴とする請求項1～28のいずれかに記載の異常診断装置。
- [31] 前記機械設備は工作機械主軸用軸受装置であることを特徴とする請求項1～28のいずれかに記載の異常診断装置。
- [32] 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診

断方法であって、

前記機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

該検出された信号の波形の周波数を分析する工程と、

該分析工程で得られたスペクトルに基づき算出した基準値より大きい該スペクトルのピークを抽出し、該ピーク間の周波数と回転速度信号或いは移動速度信号に基づき算出した前記部品の損傷に起因する周波数成分とを比較照合する工程と、

該比較工程での照合結果に基づき前記部品の異常の有無及び異常部位を判定する工程と、

を備えることを特徴とする異常診断方法。

- [33] 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

前記機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

前記電気信号の単位時間当たりの波形が閾値を越えた衝撃波の頻度と、回転速度信号或いは移動速度信号に基づき、前記部品の異常の有無を検出する工程と、を備えたことを特徴とする異常診断方法。

- [34] 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

前記機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

該検出された信号の波形の周波数を分析する工程と、

該分析工程で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と前記部品に起因した周波数成分とを可変な許容幅を持って比較照合する工程と、

該比較工程での照合結果に基づき前記部品の異常の有無及び異常部位を判定する工程と、を備えることを特徴とする異常診断方法。

- [35] 回転部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

前記機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

該検出された信号の波形の周波数を分析する工程と、

前記回転部品に起因した周波数成分に対して、前記回転部品の回転速度と前記回転部品の設計寸法諸元とから算出される上限値と下限値を有する領域を少なくとも

も一つの領域に分割し、該各分割領域の中心値を求め、該中心値に対して与えられる任意の大きさを持った少なくとも一つの許容幅を設定する工程と、

該周波数分析で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と前記回転部品に起因した周波数成分とを前記少なくとも一つの許容幅毎に比較照合する工程と、

該比較工程での照合結果に基づき前記回転部品の異常の有無及び異常部位を判定する工程と、

を備えることを特徴とする異常診断方法。

- [36] 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

前記機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

該検出された信号の波形の周波数を分析する工程と、

該分析工程で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と前記部品に起因した周波数成分とを比較照合する工程と、

該比較工程での照合結果に基づき前記部品の異常の有無及び異常部位を判定する工程と、

を備え、

前記比較照合に用いられる基準値は、前記実測スペクトルデータの限定した周波数範囲に基づいて算出されることを特徴とする異常診断方法。

- [37] 回転或いは摺動する少なくとも一つの部品を備えた機械設備に用いられる異常診断方法であって、

前記機械設備から発生する信号を検出して電気信号として出力する工程と、

該検出された信号の波形の周波数を分析する工程と、

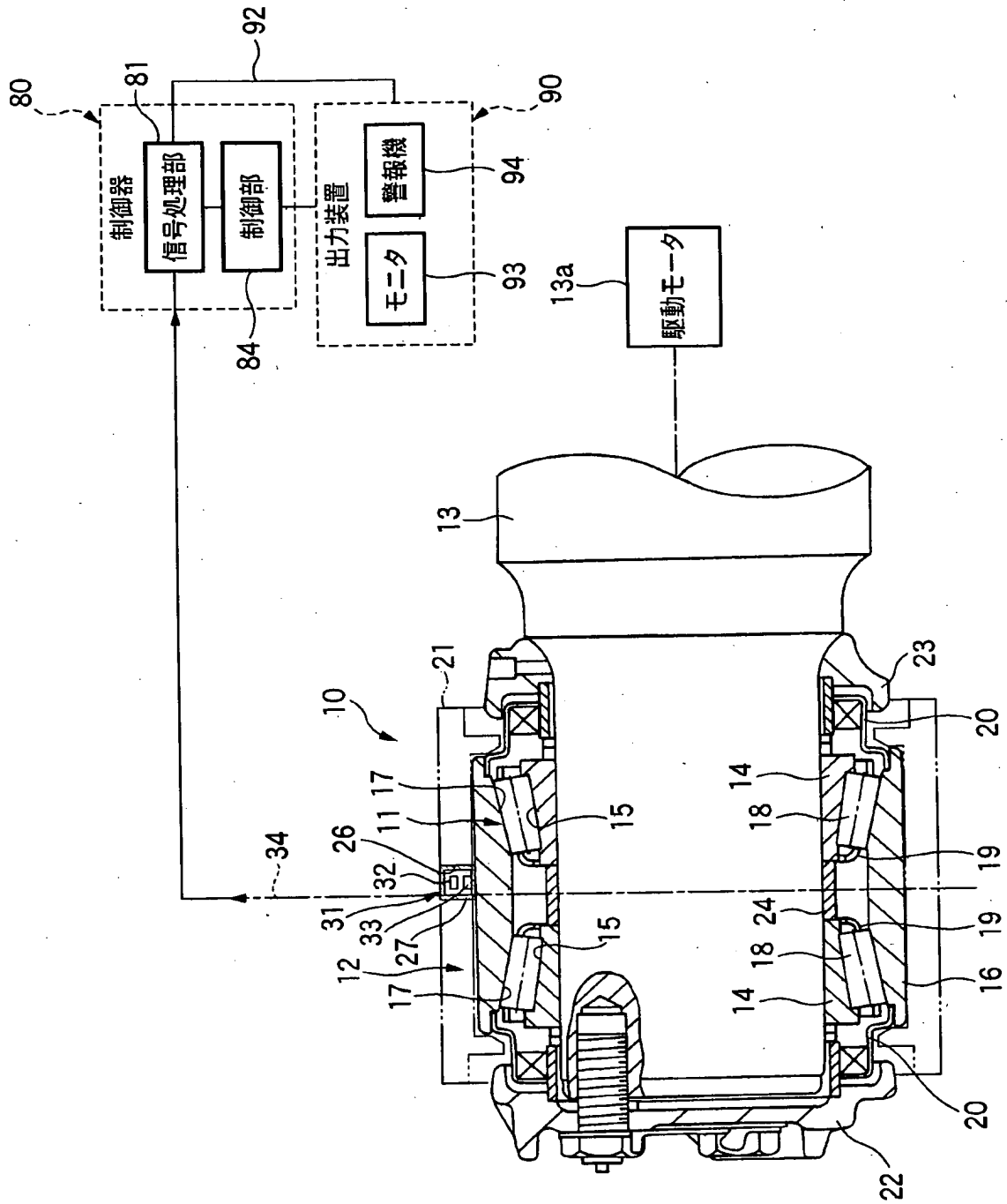
該分析工程で得られた実測スペクトルデータの周波数成分と前記部品に起因した周波数成分とを比較照合する工程と、

該比較工程での照合結果に基づき前記部品の異常の有無及び異常部位を判定する工程と、

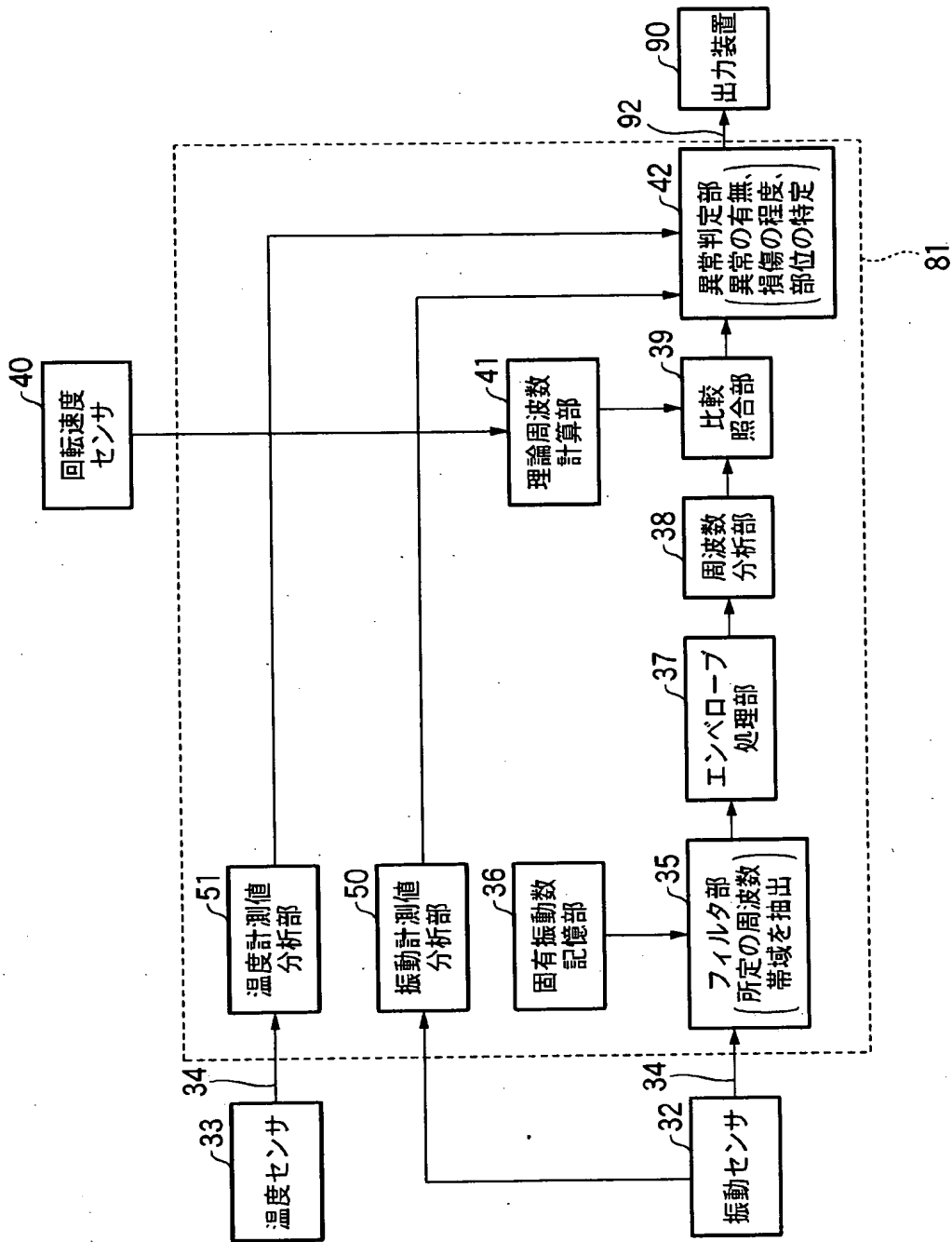
前記分析、比較、判定工程の少なくとも一つにて得られる診断結果を記憶する工程と、

前記診断結果を所定の形式で出力する工程と、
該出力工程によって出力される出力結果を、少なくとも一つのプログラムに基づいてレポートを作成する工程と、
を備えることを特徴とする異常診断方法。

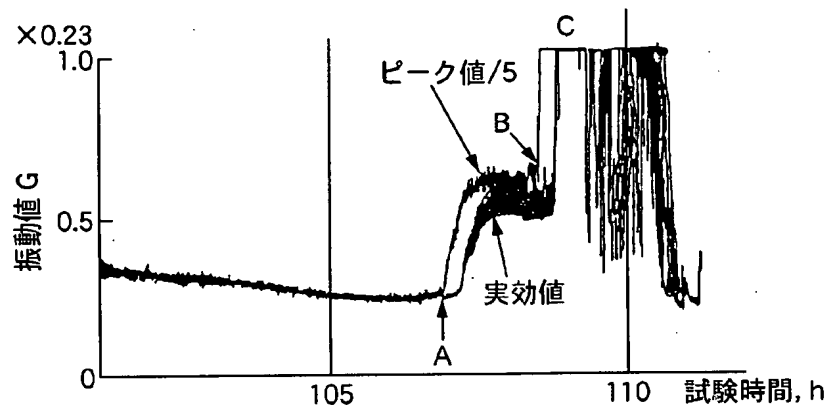
[図1]



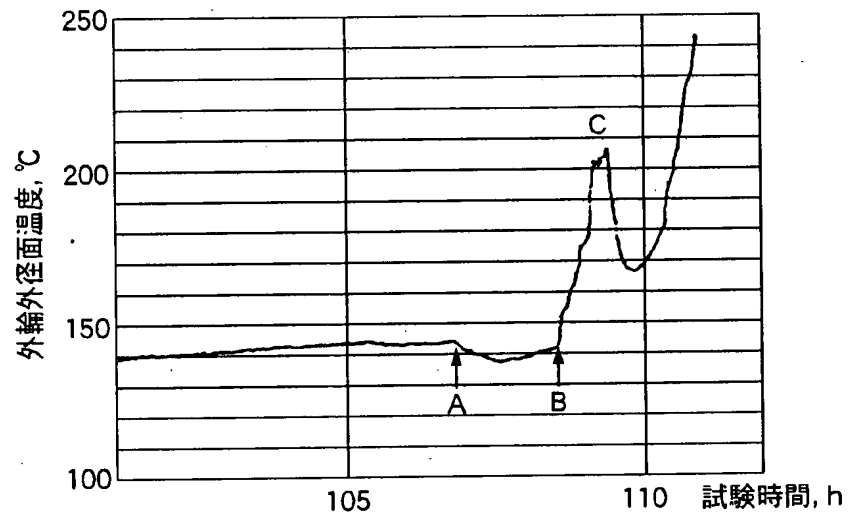
[図2]



[図3]



[図4]

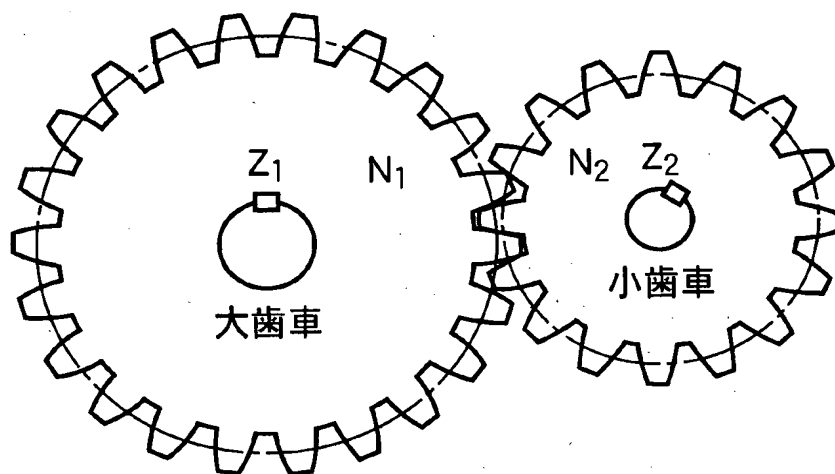


[図5]

軸受の部位 (Sx)	部位に対応する周波数
内輪 (Si)	$Zf_i = \frac{f_r}{2} \left(1 + \frac{D_a}{d_m} \cdot \cos \alpha \right) Z$
外輪 (So)	$Zf_o = \frac{f_r}{2} \left(1 - \frac{D_a}{d_m} \cdot \cos \alpha \right) Z$
転動体 (Sb)	$2f_b = f_r \left(1 - \frac{D_a^2}{d_m^2} \cdot \cos^2 \alpha \right) \frac{d_m}{D_a}$
保持器 (Sc)	$f_c = \frac{f_r}{2} \left(1 - \frac{D_a \cdot \cos \alpha}{d_m} \right)$

f_r : 内輪(外輪)回転速度 [Hz] Z : 転動体の数
 f_c : 保持器回転速度 [Hz] f_i : $f_r - f_c$
 f_b : 転動体自転速度 [Hz] D_a : 転動体直径 [mm]
 d_m : 転動体ピッチ円径 [mm] α : 接触角 [rad]

[図6]



かみ合い周波数成分 : $Sg = Z_1 \times \frac{N_1}{60}$ or $Sg = Z_2 \times \frac{N_2}{60}$

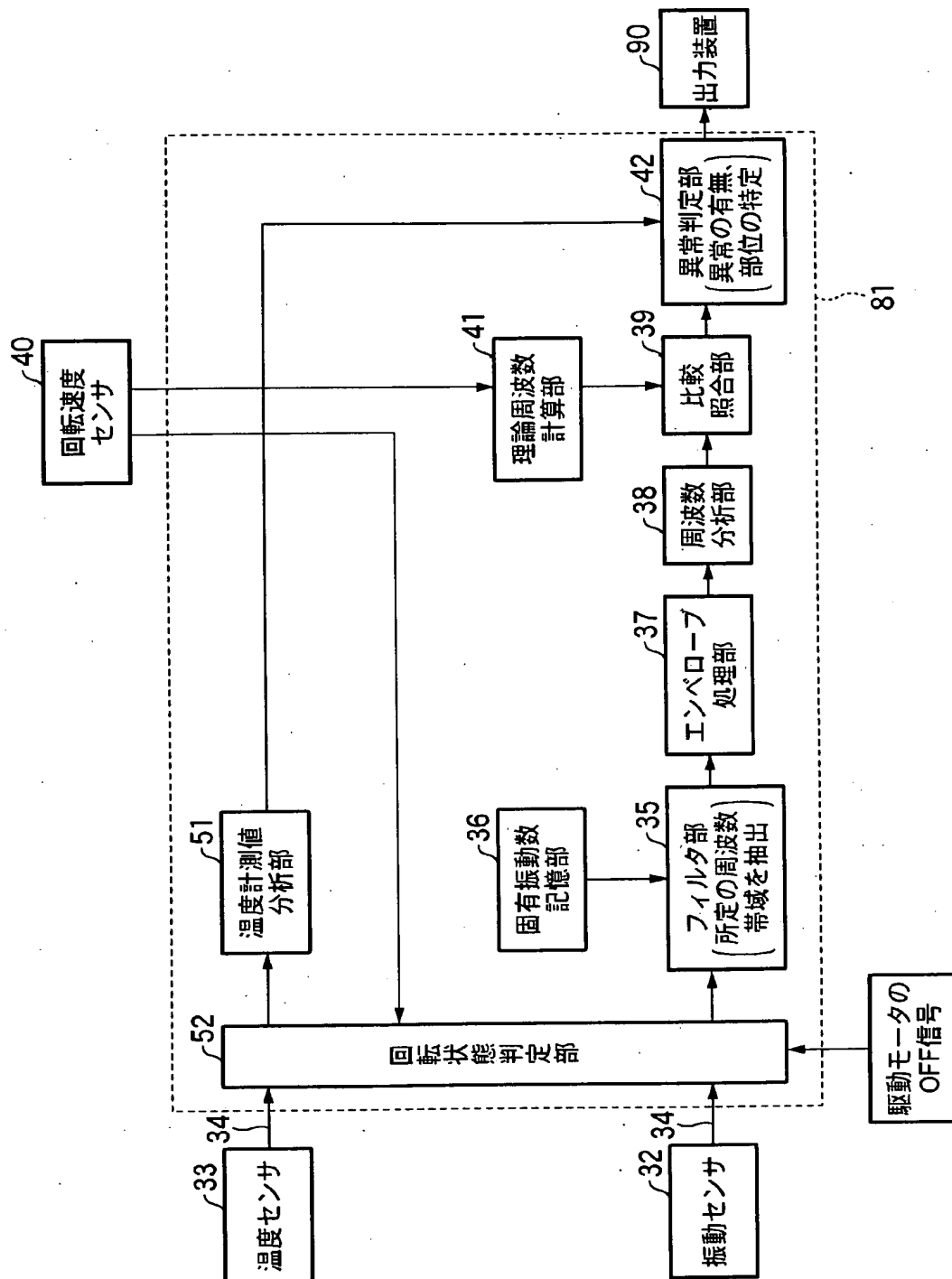
N_1 : 大歯車の回転数(min⁻¹)

N_2 : 小歯車の回転数(min⁻¹)

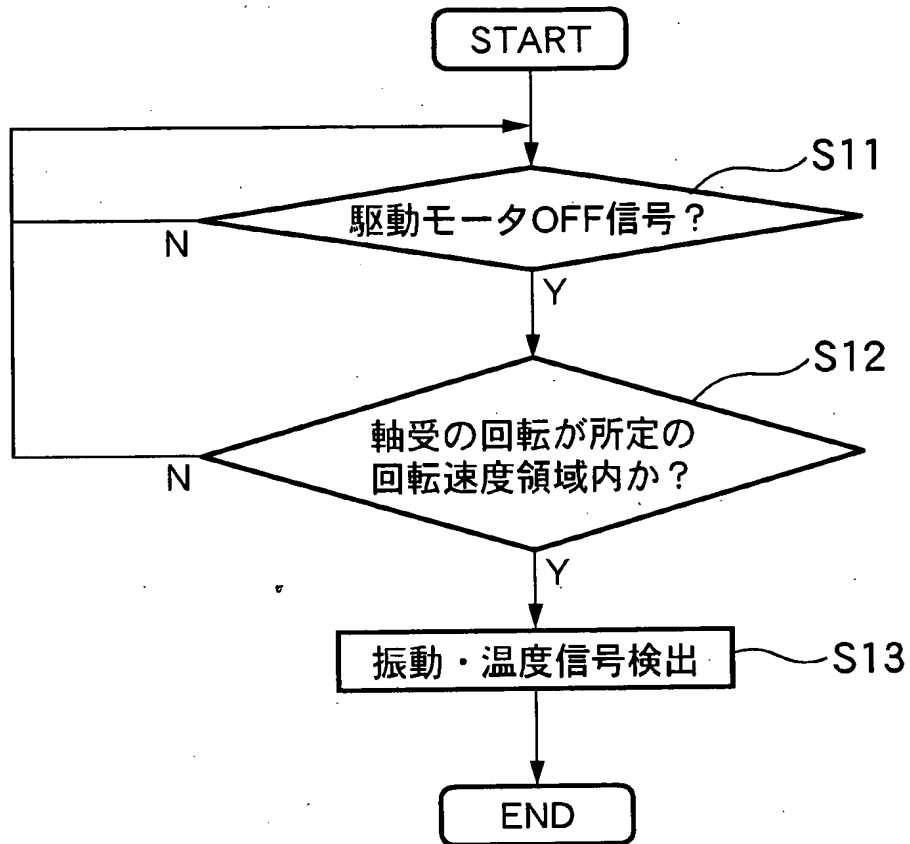
Z_1 : 大歯車の歯数

Z_2 : 小歯車の歯数

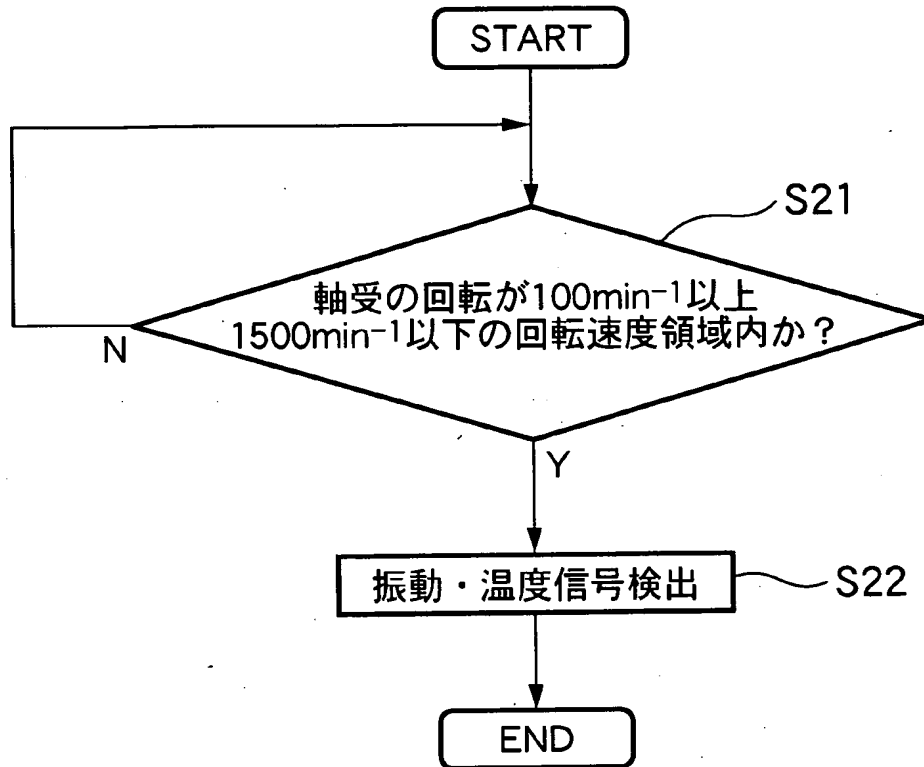
[図7]



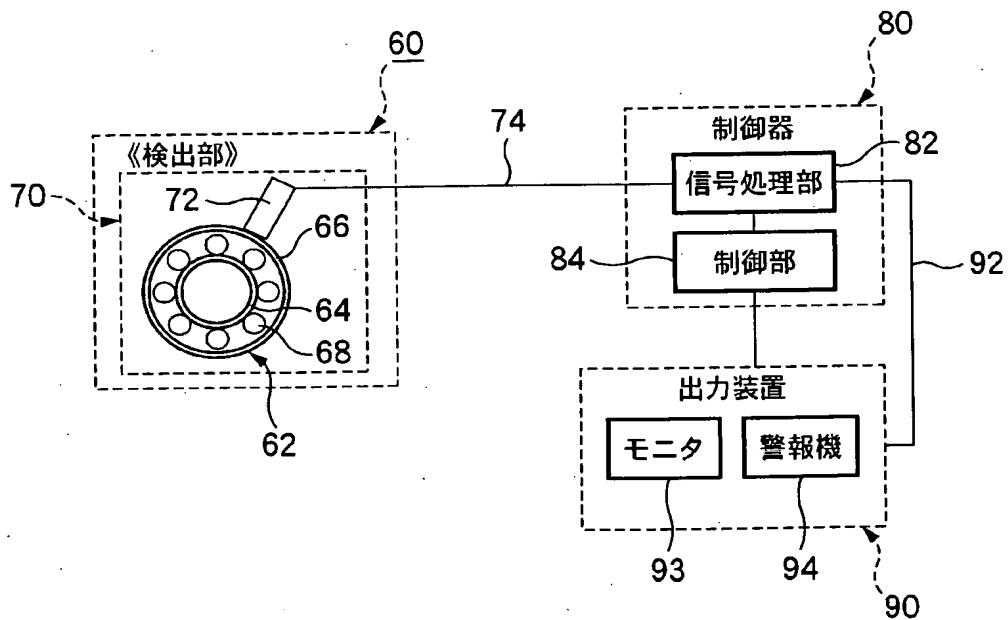
[図8]



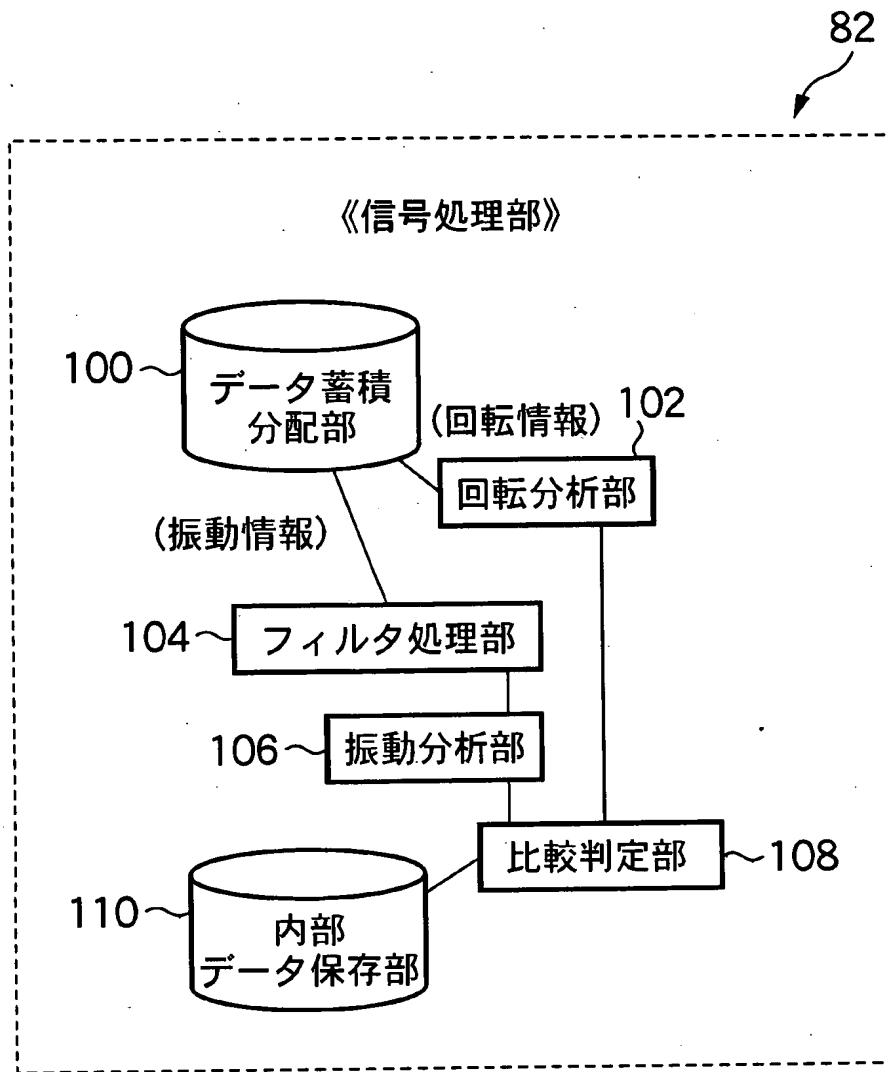
[図9]



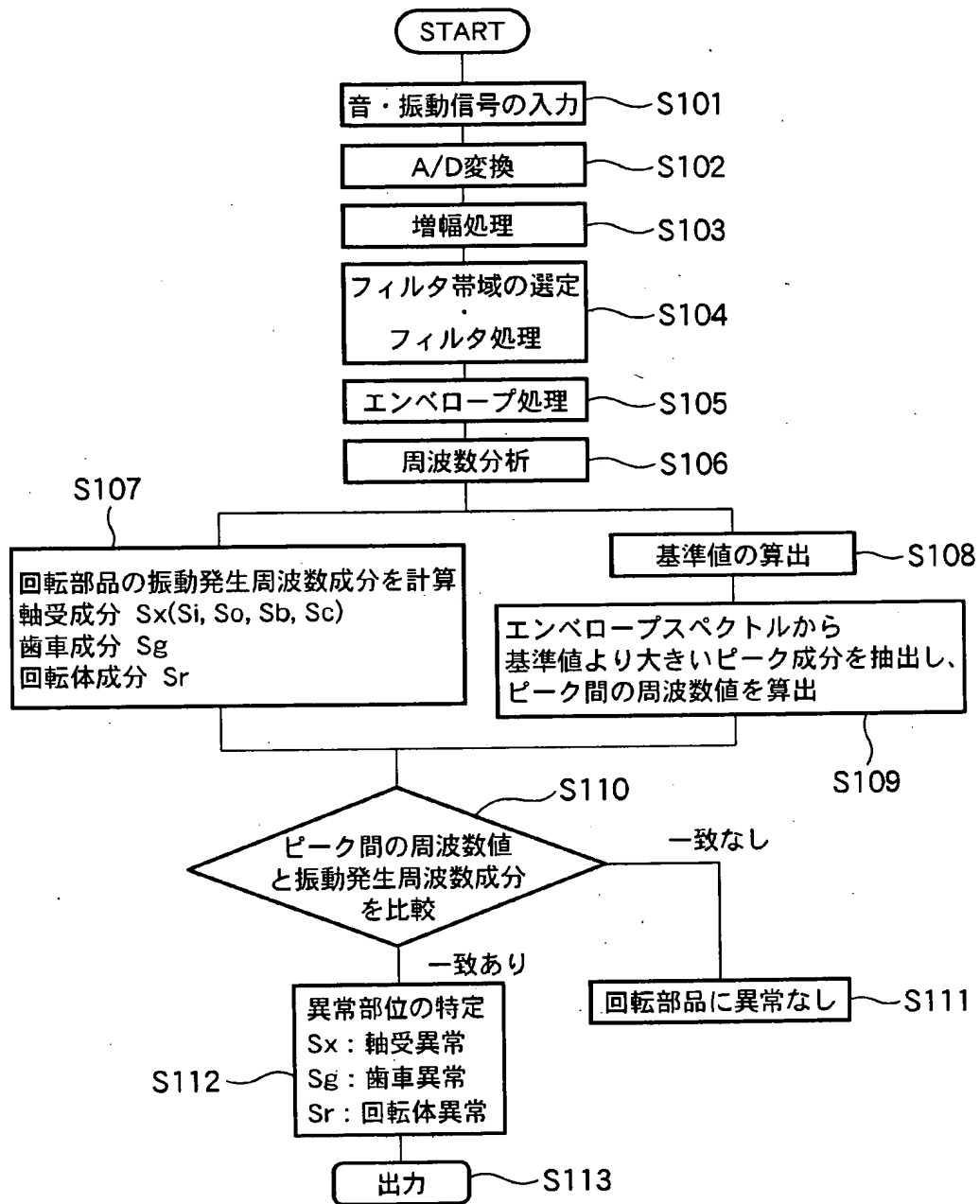
[図10]



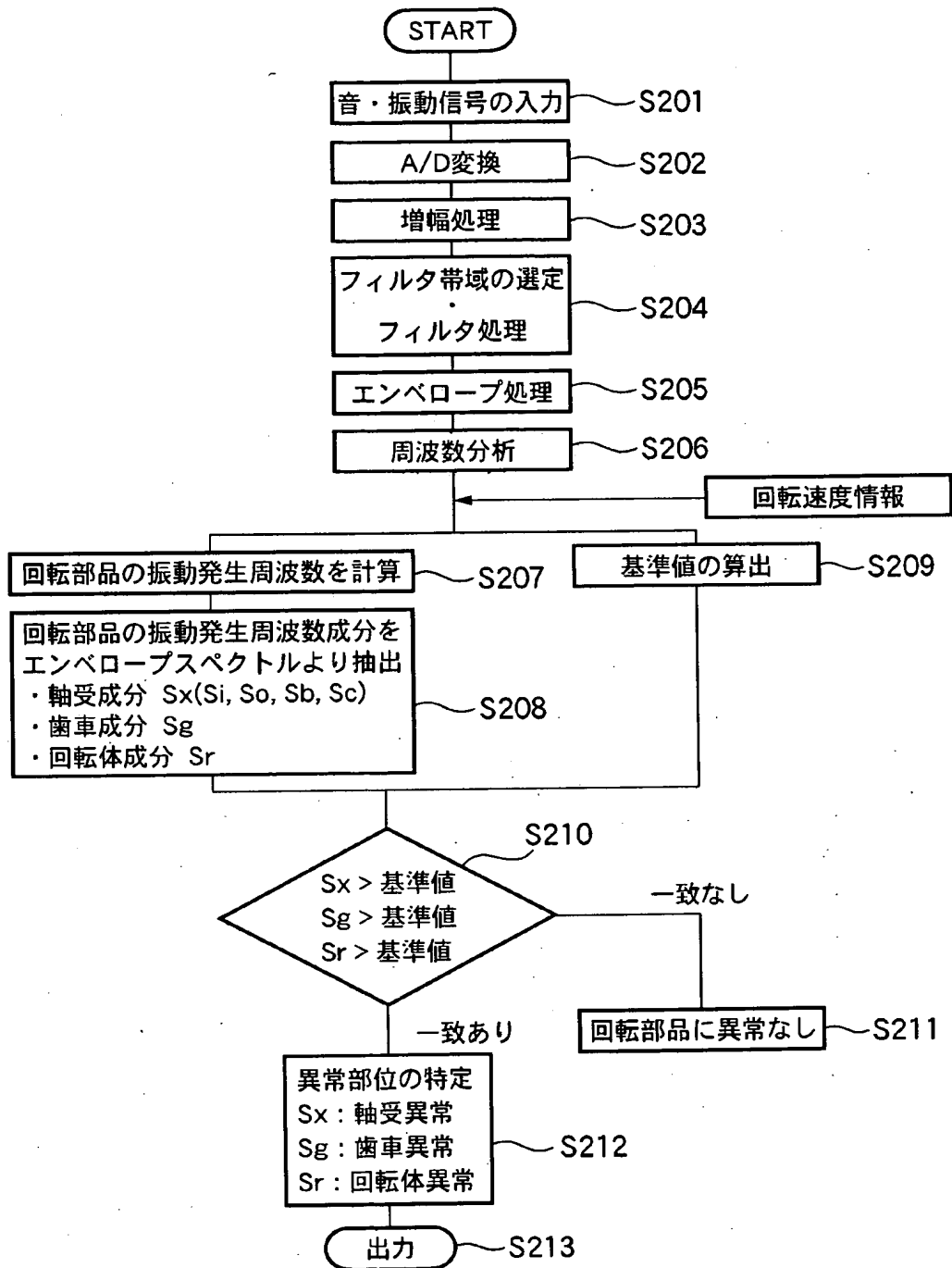
[図11]



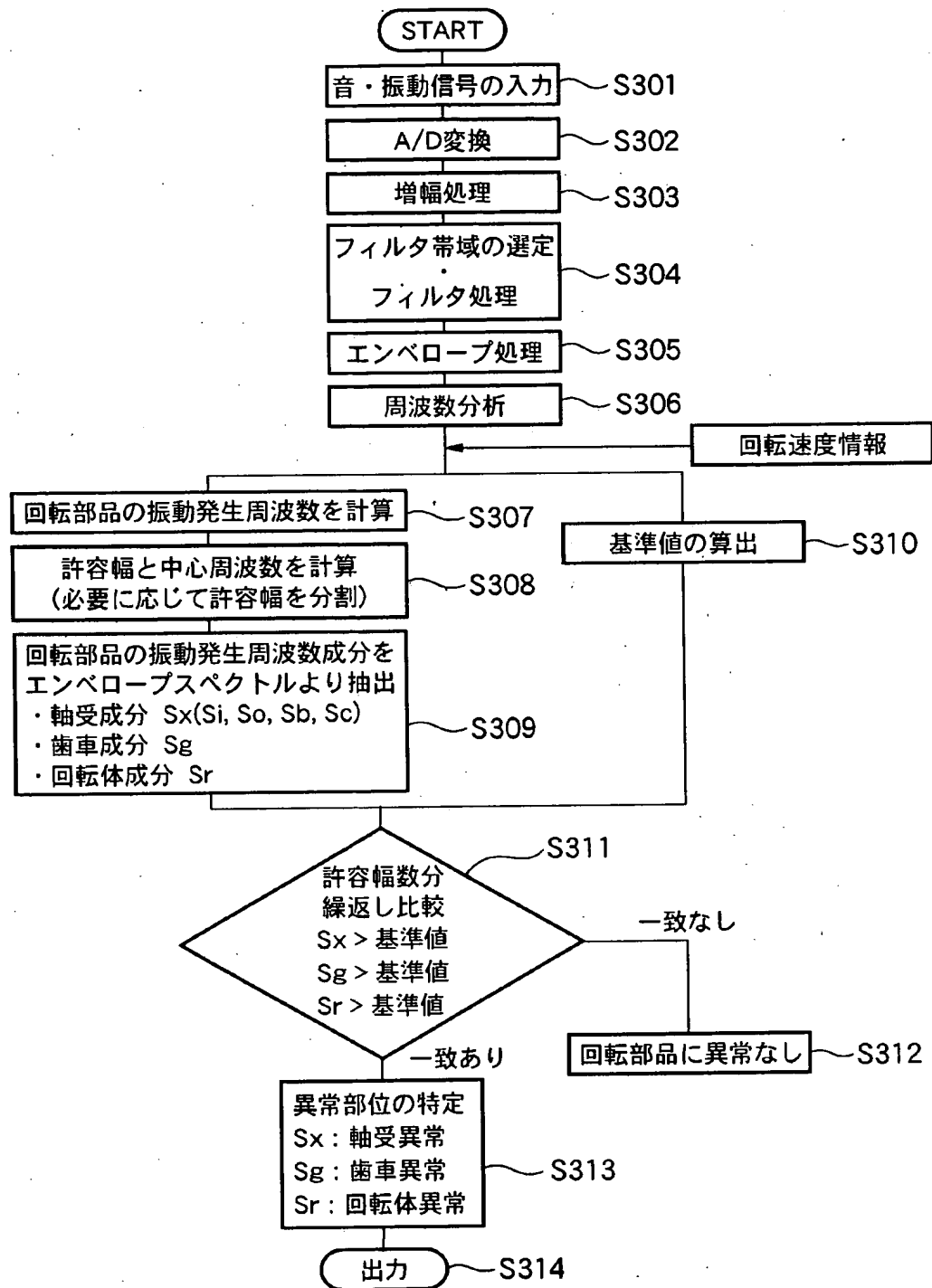
[図12]



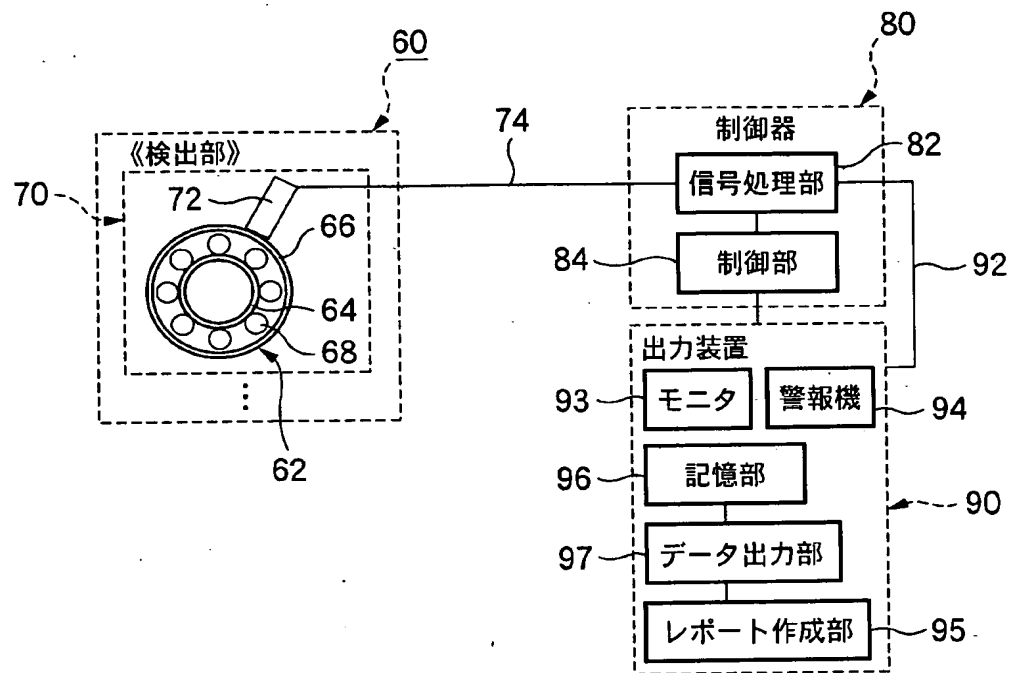
[図13]



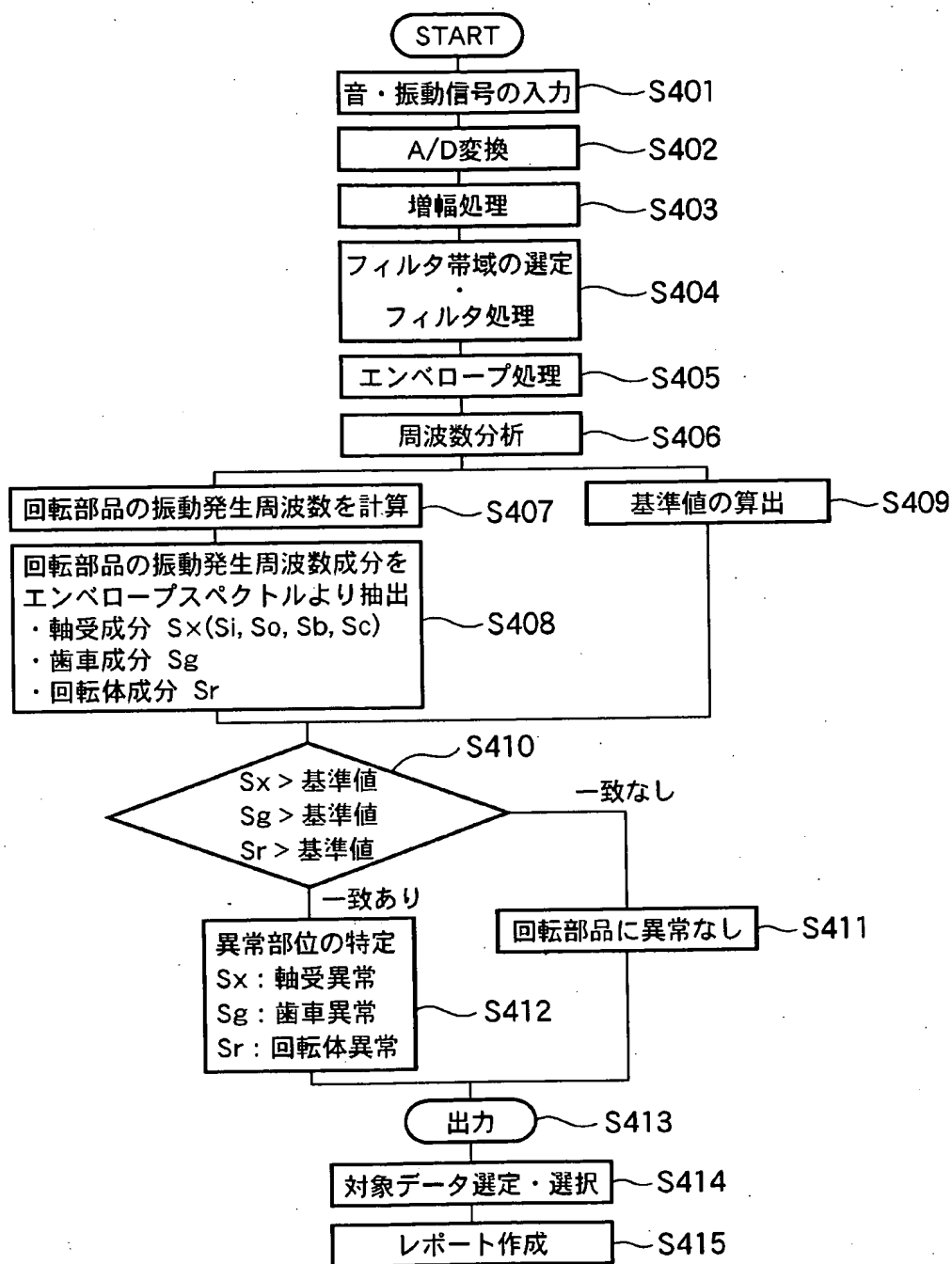
[図14]



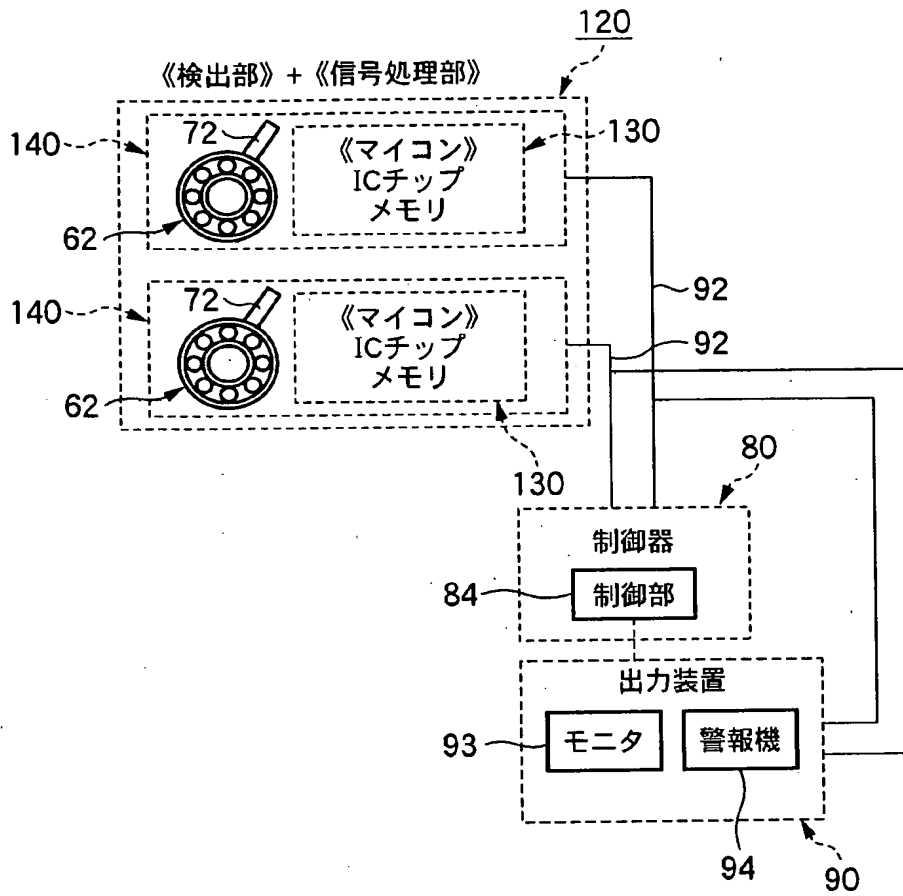
[図15]



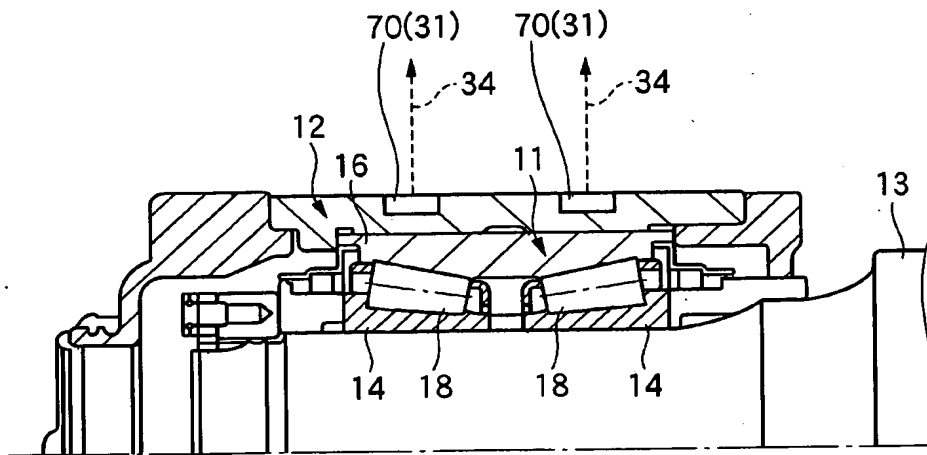
[図16]



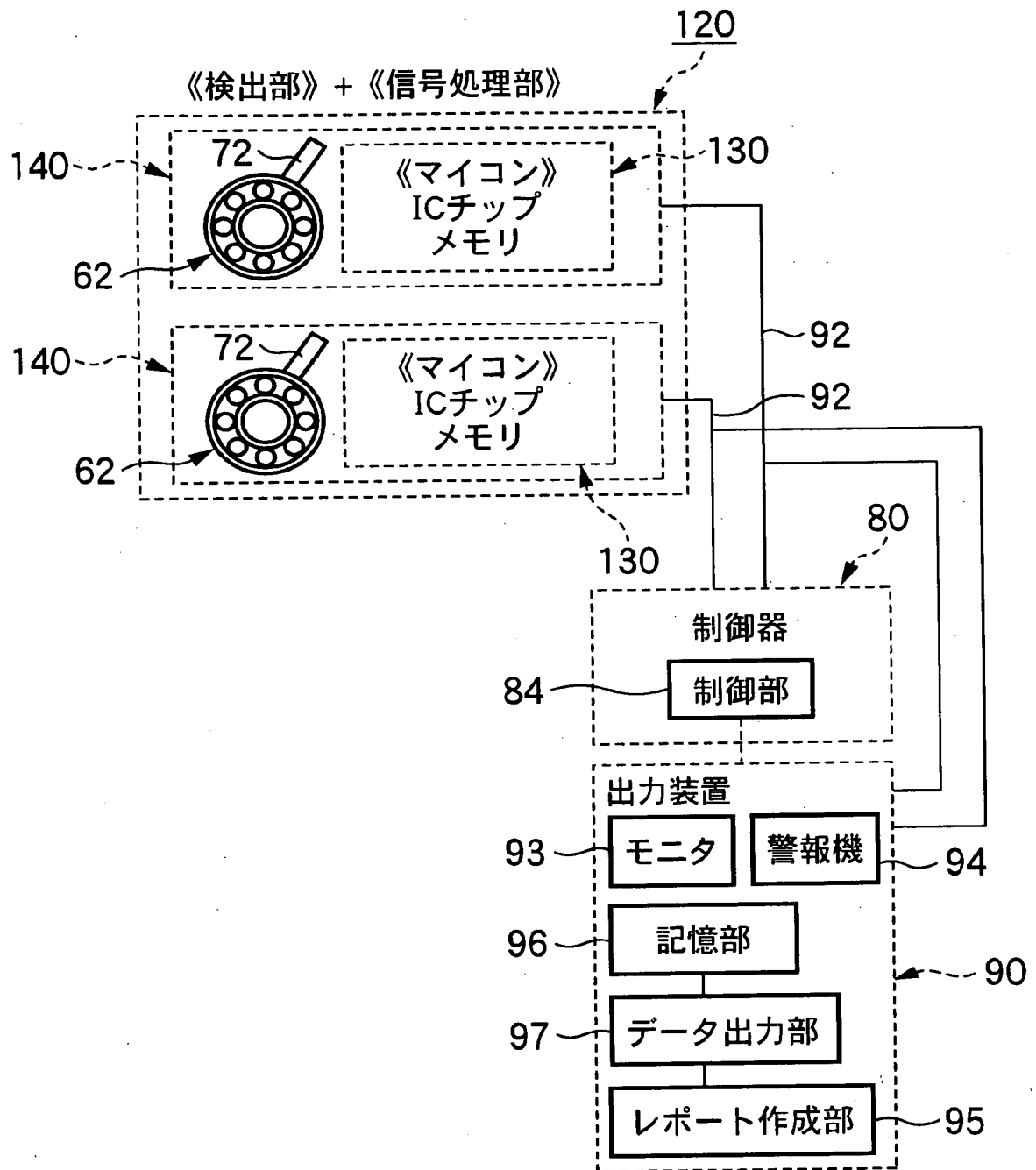
[図17]



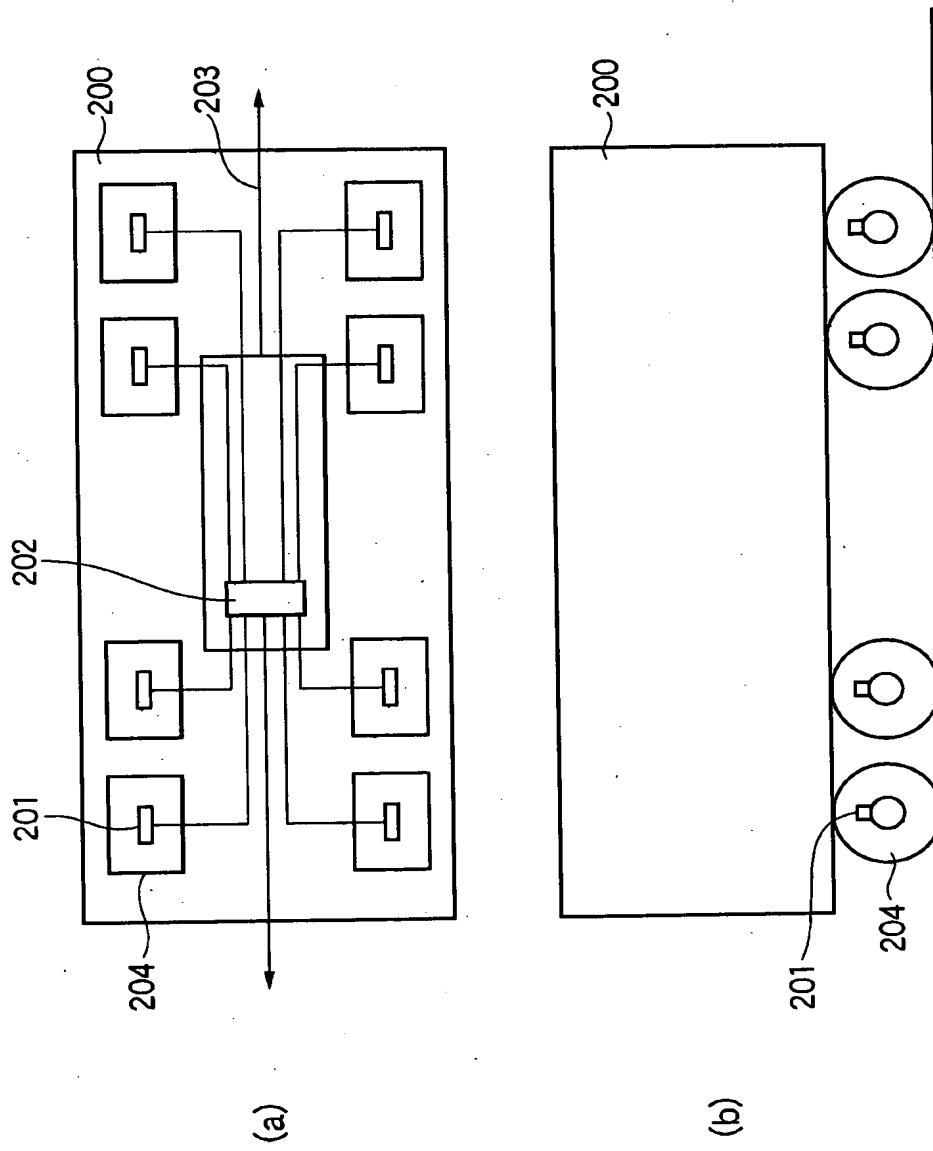
[図18]



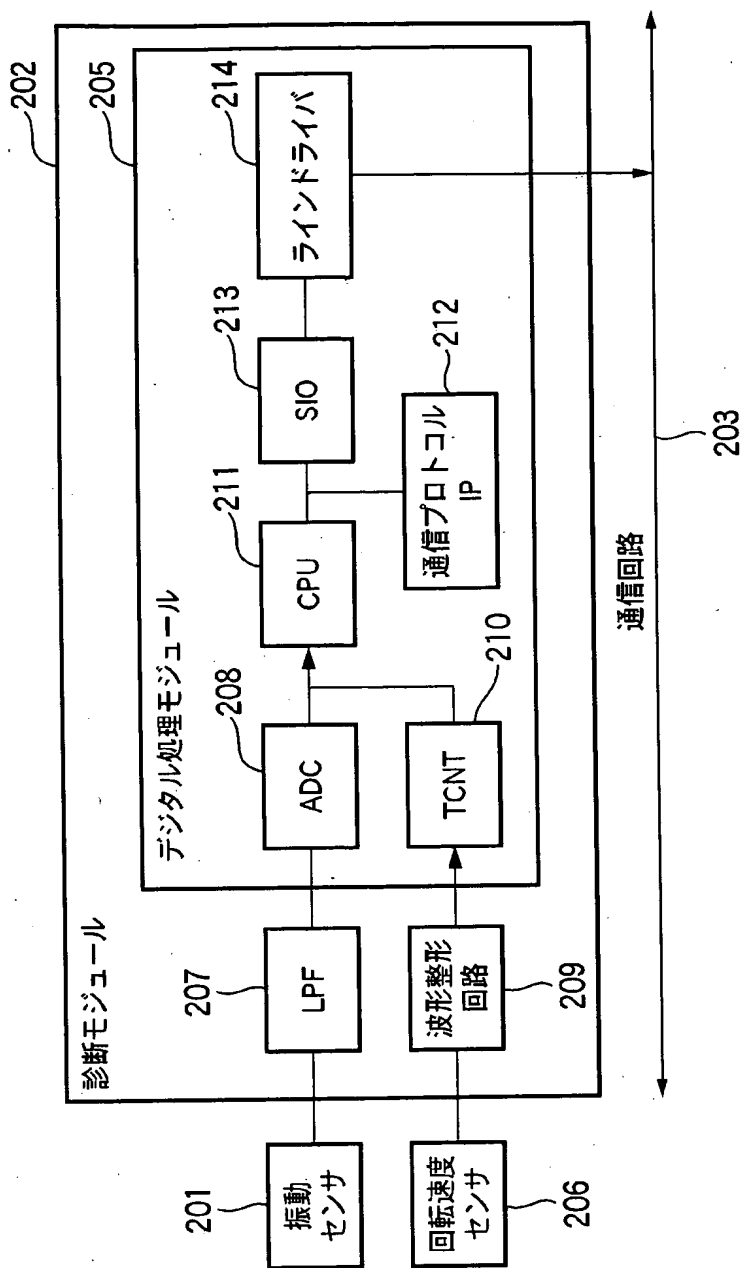
[図19]



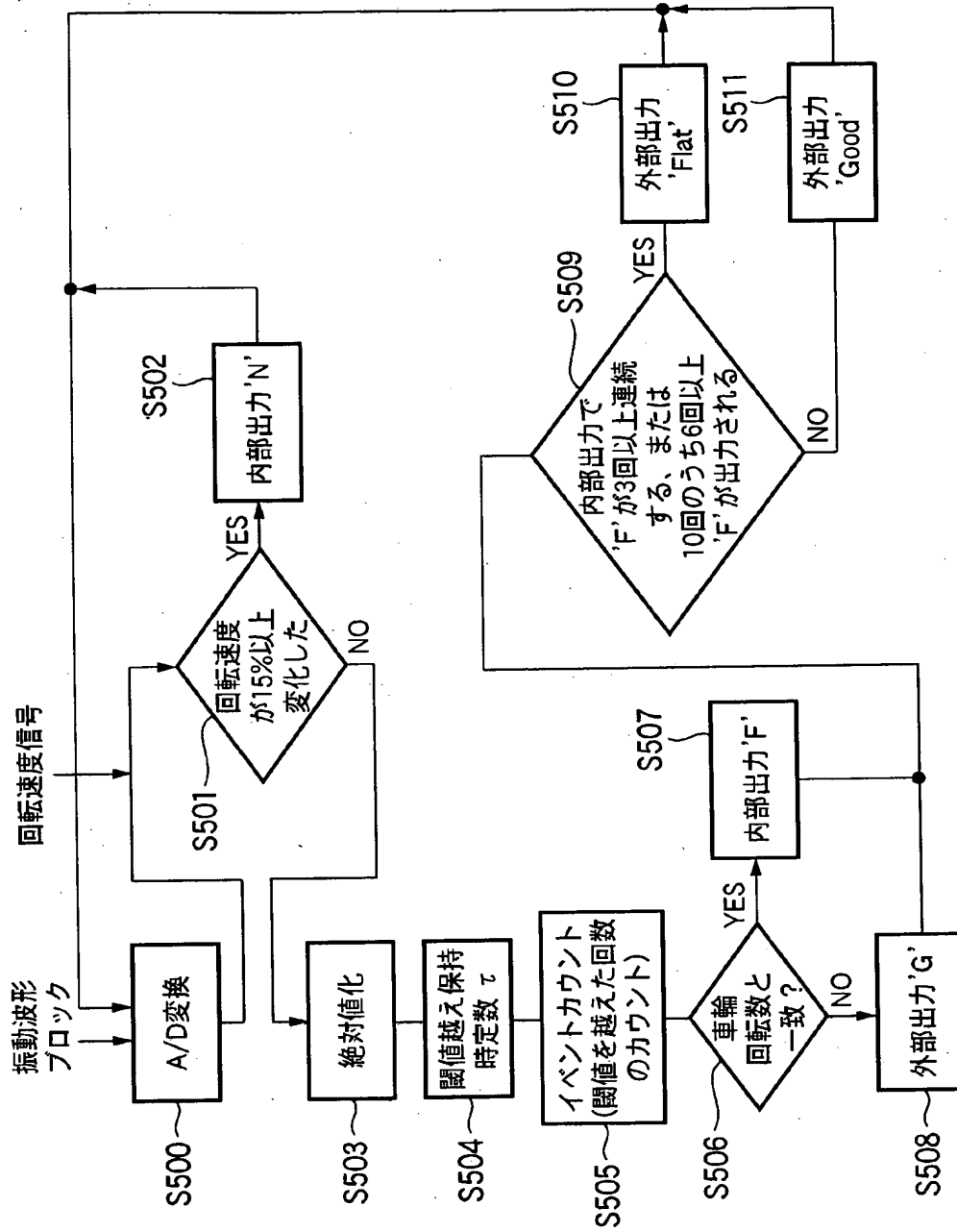
[図20]



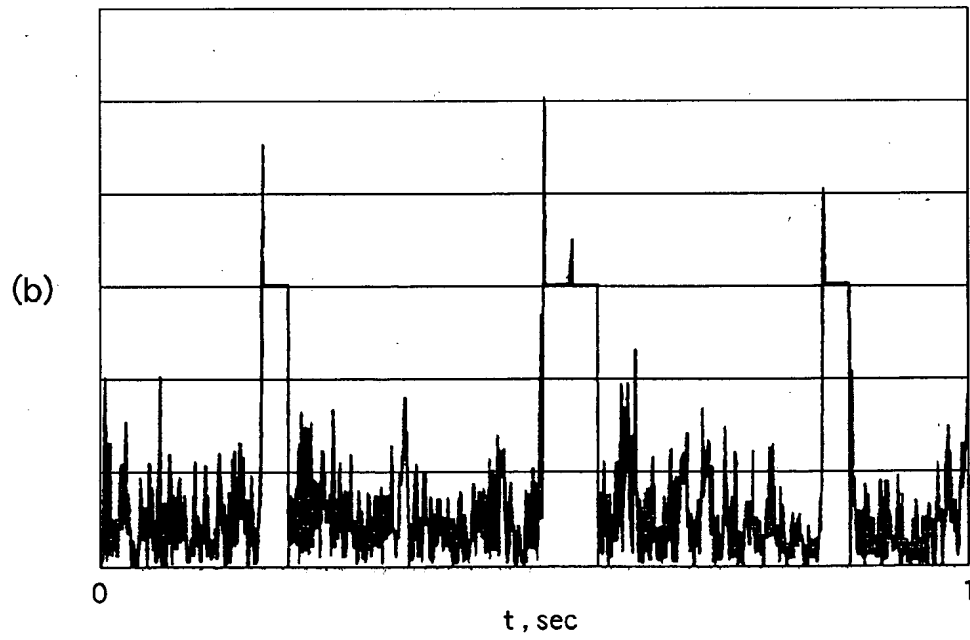
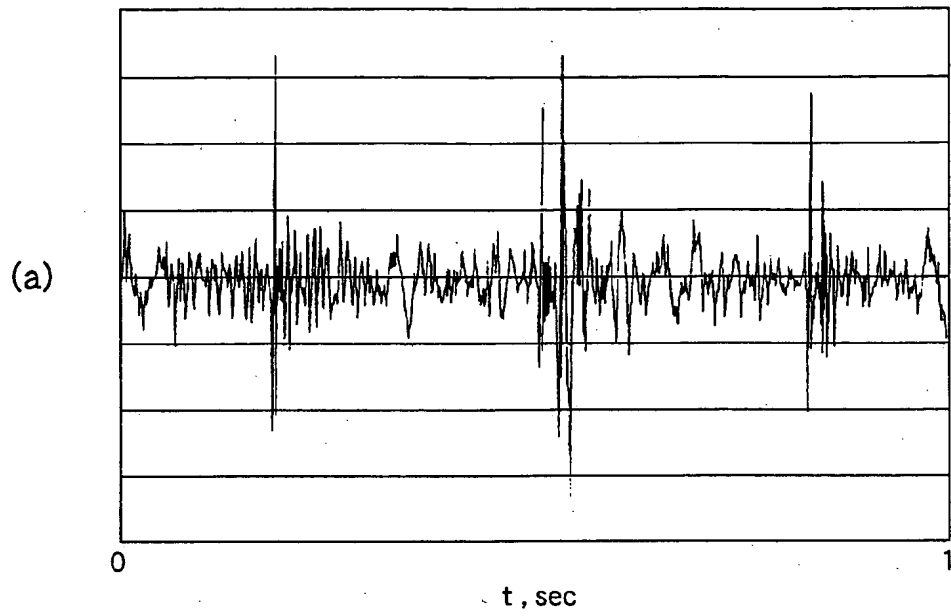
[図21]



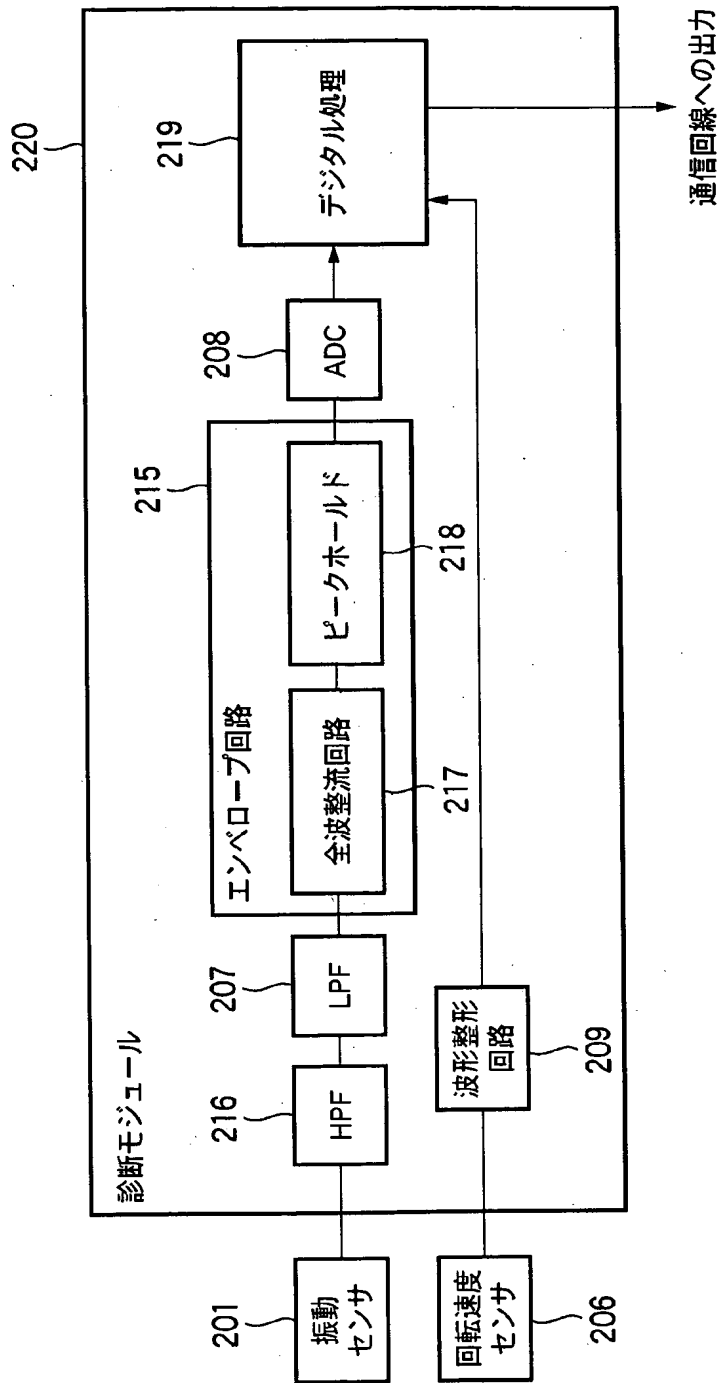
[図22]



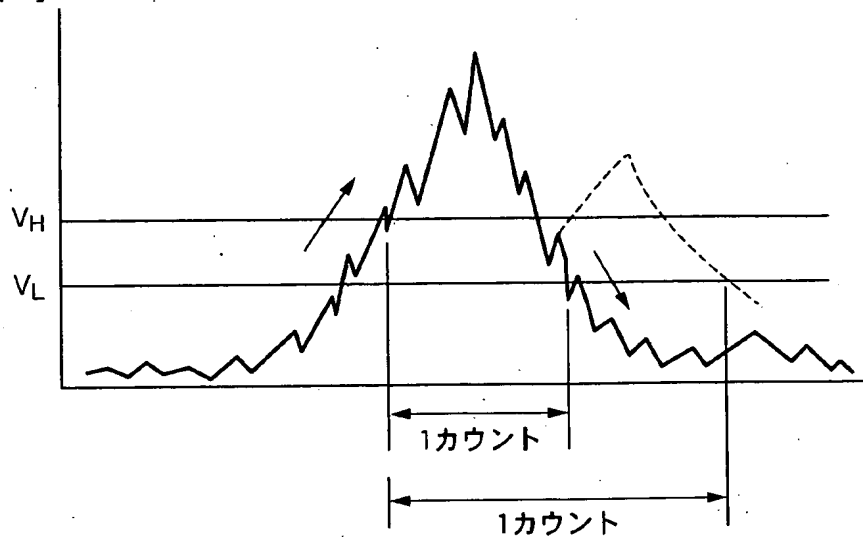
[図23]



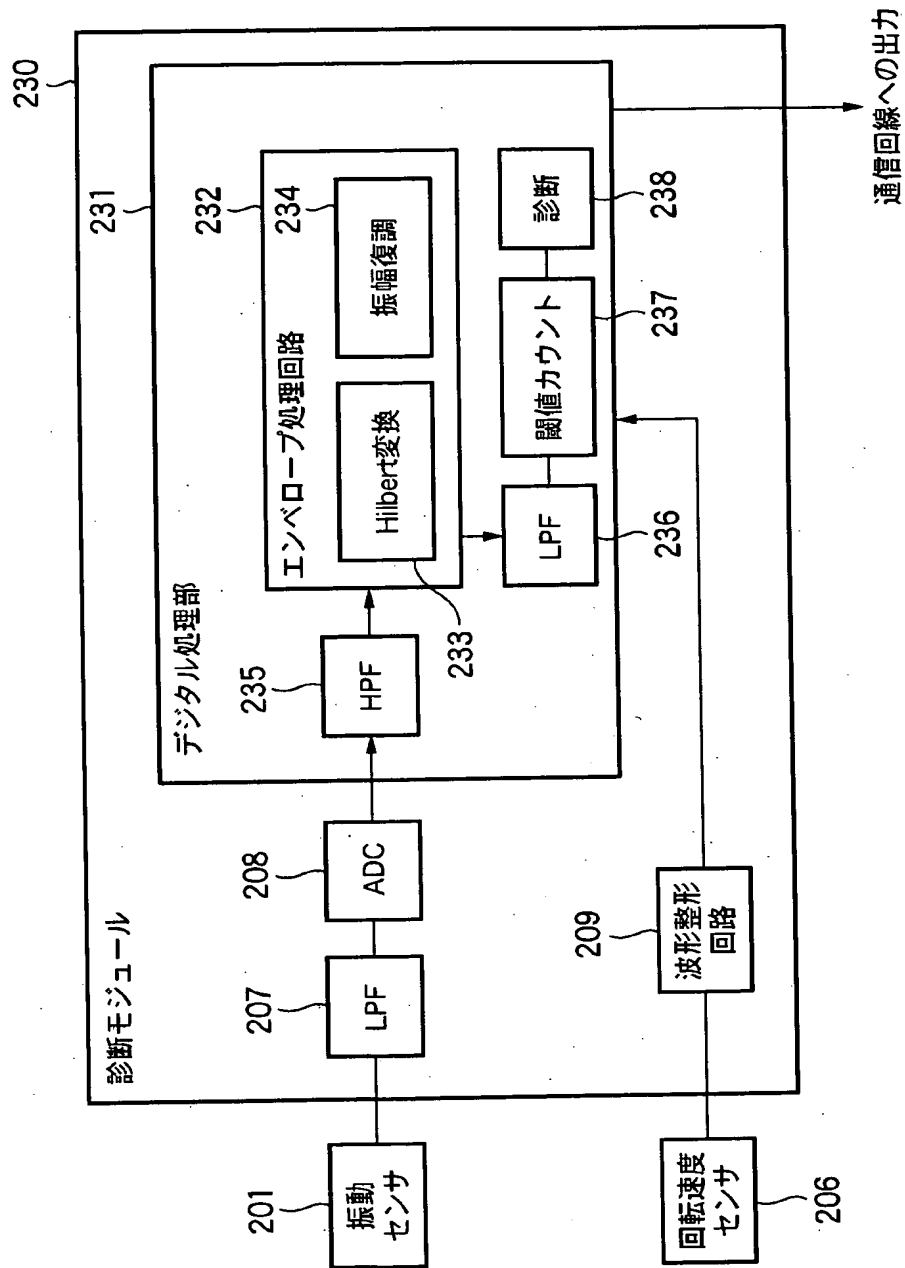
[図24]



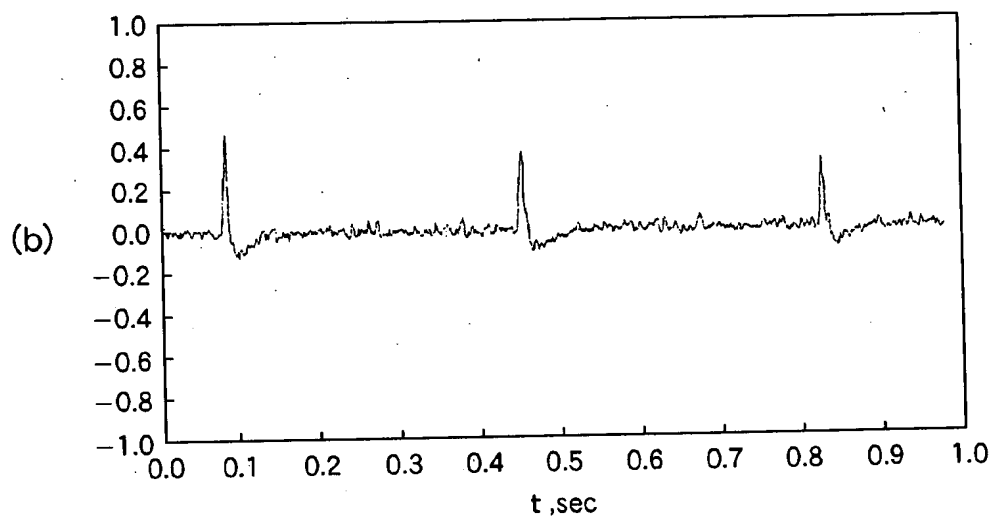
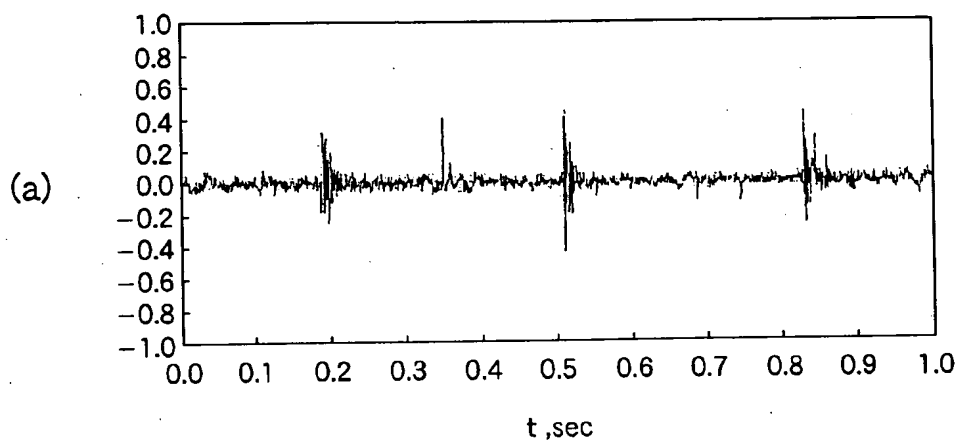
[図25]



[図26]

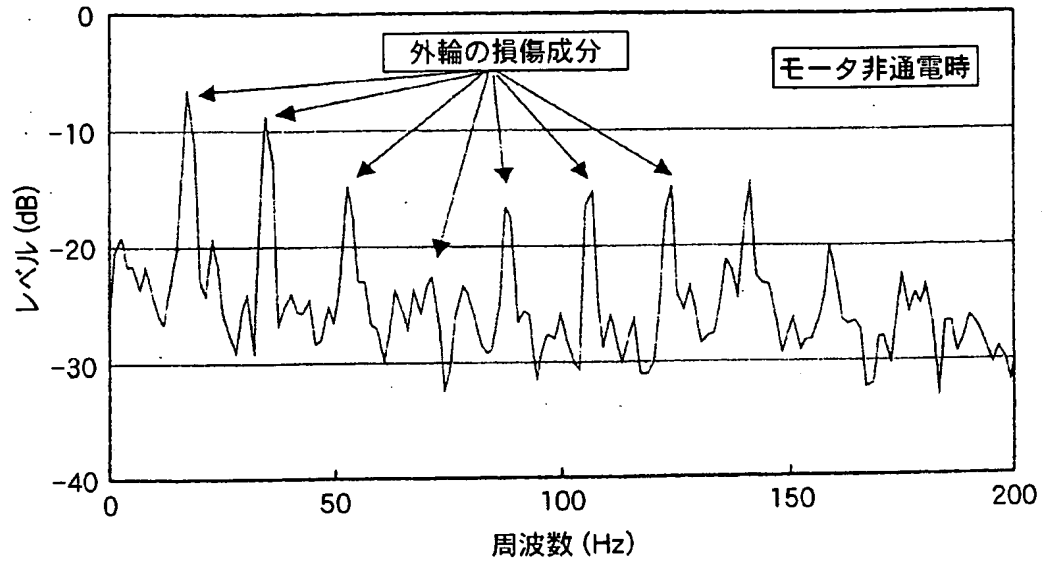


[図27]

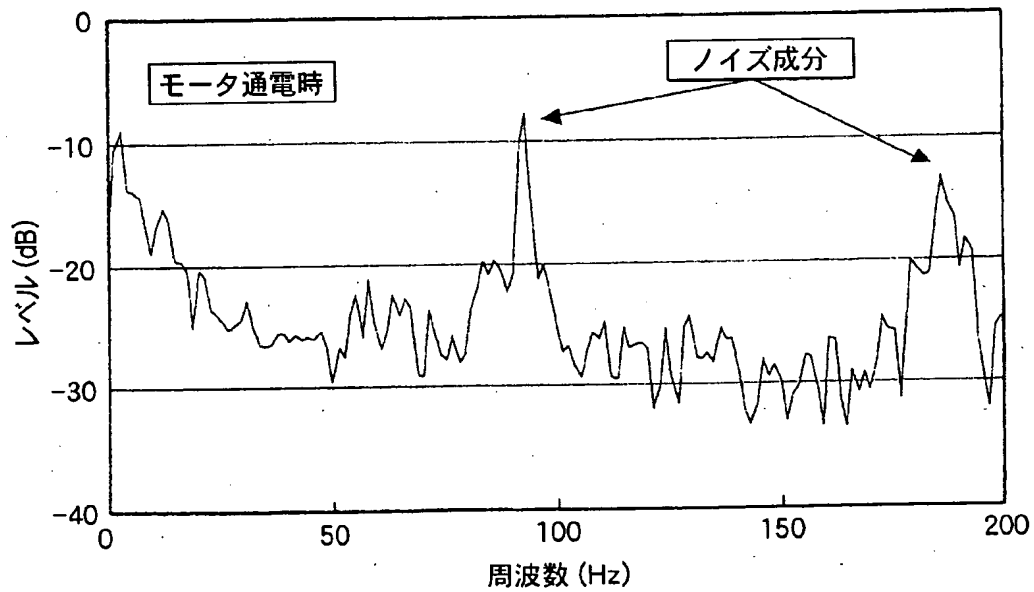


1秒間に3回の衝撃波が発生している

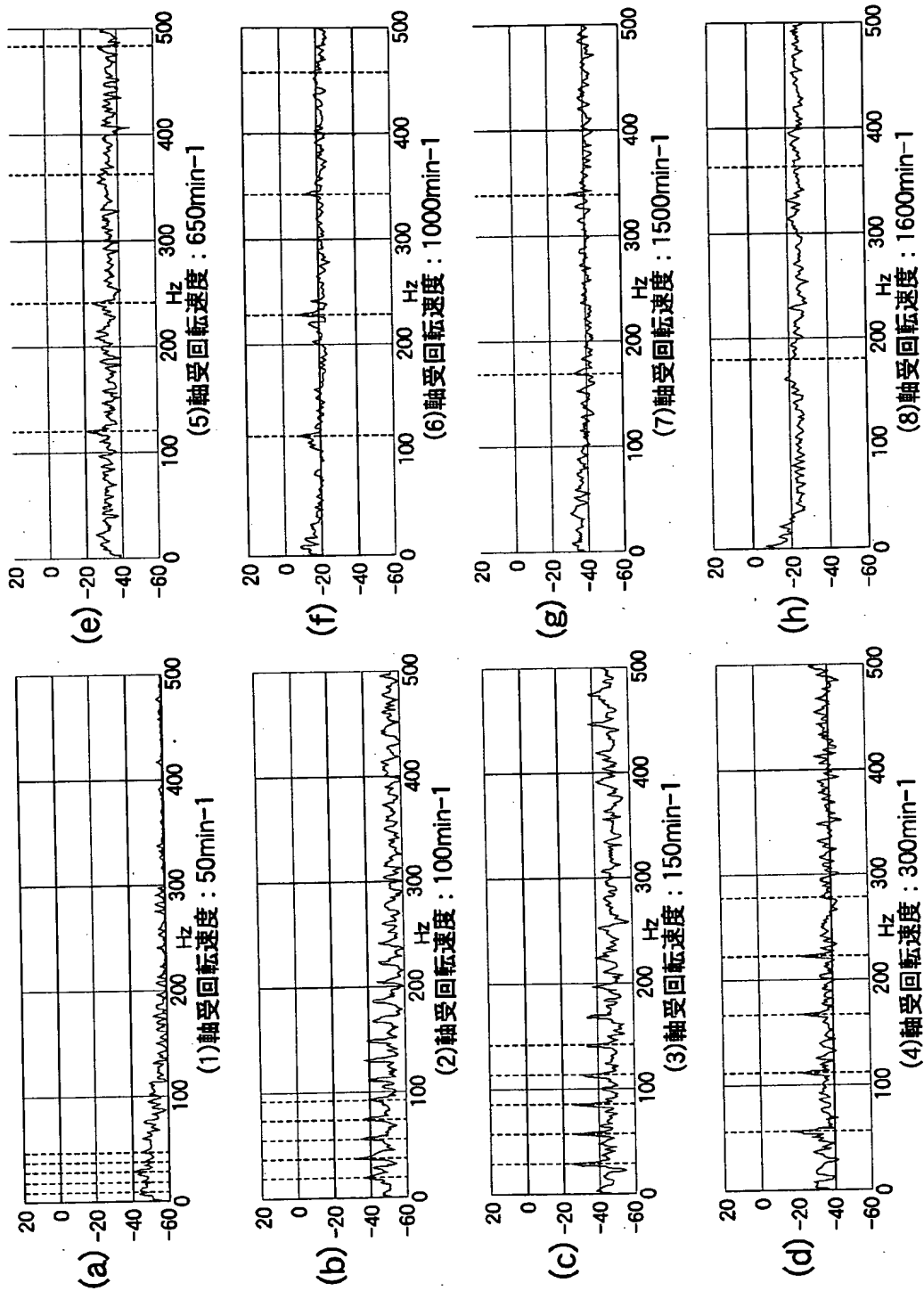
[図28]



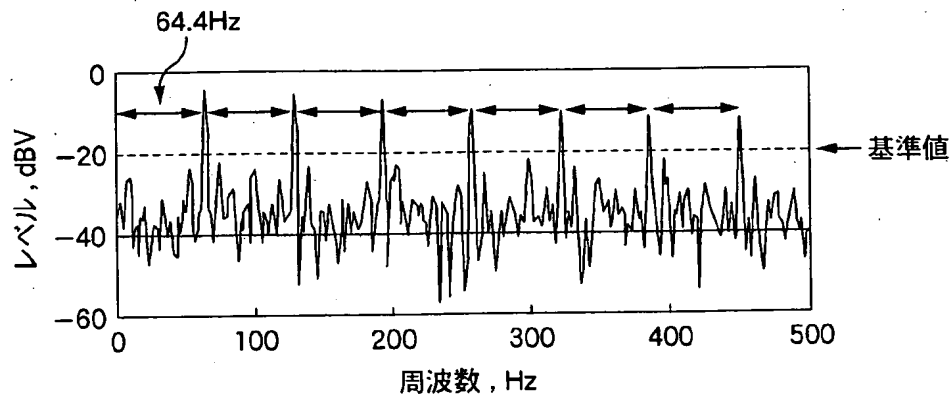
[図29]



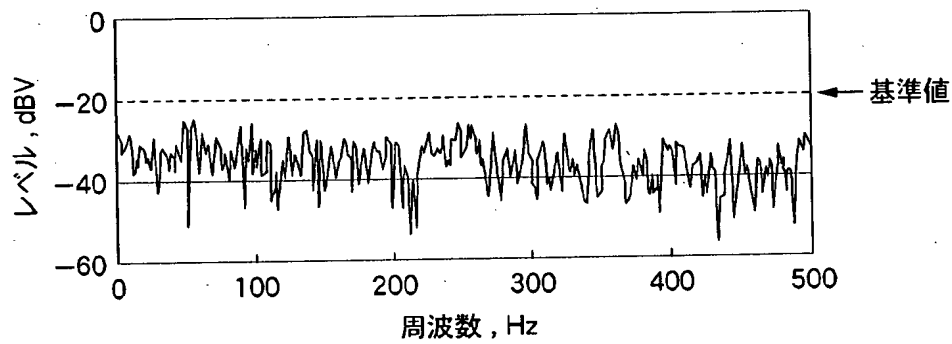
[図30]



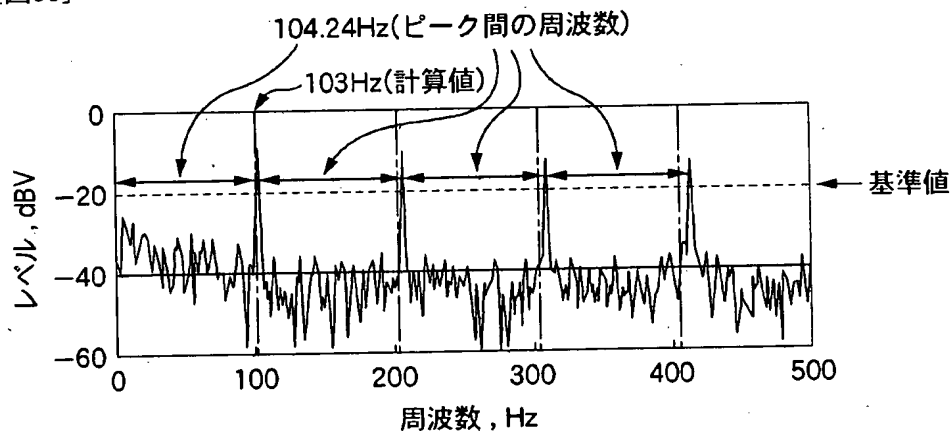
[図31]



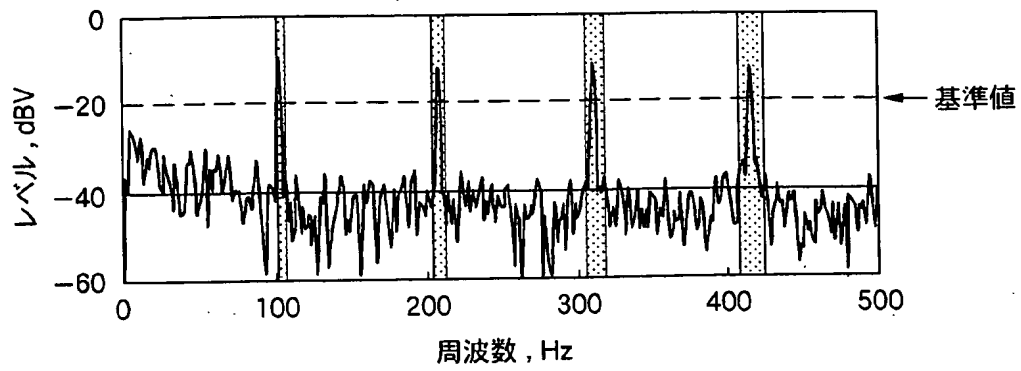
[図32]



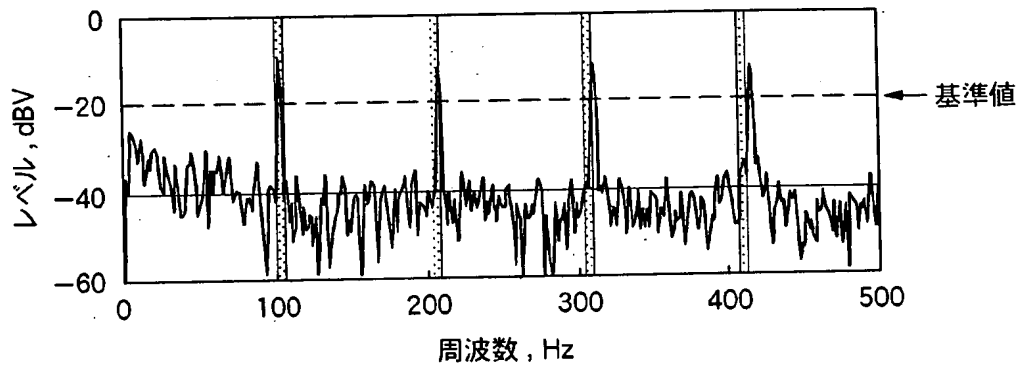
[図33]



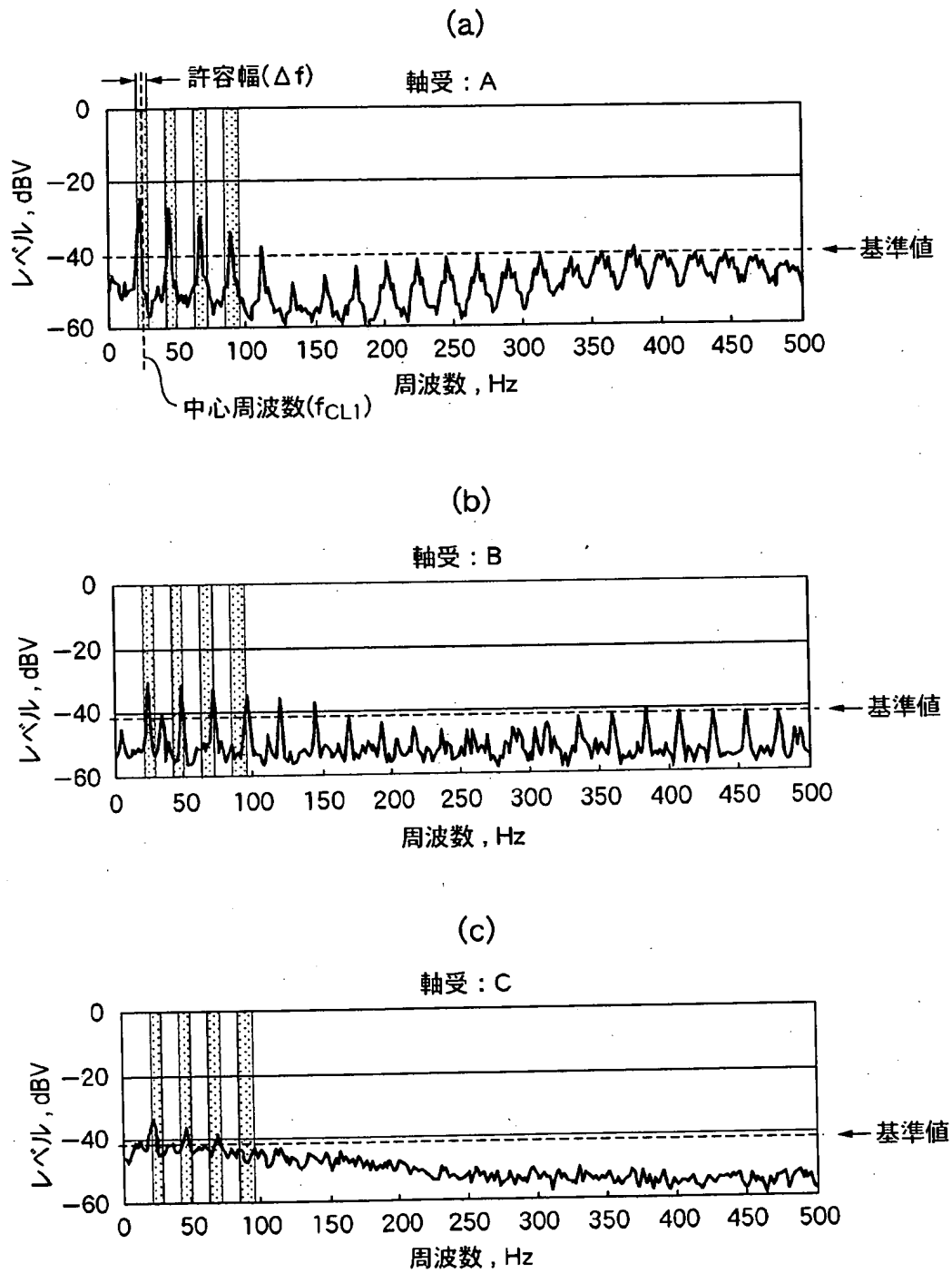
[図34]



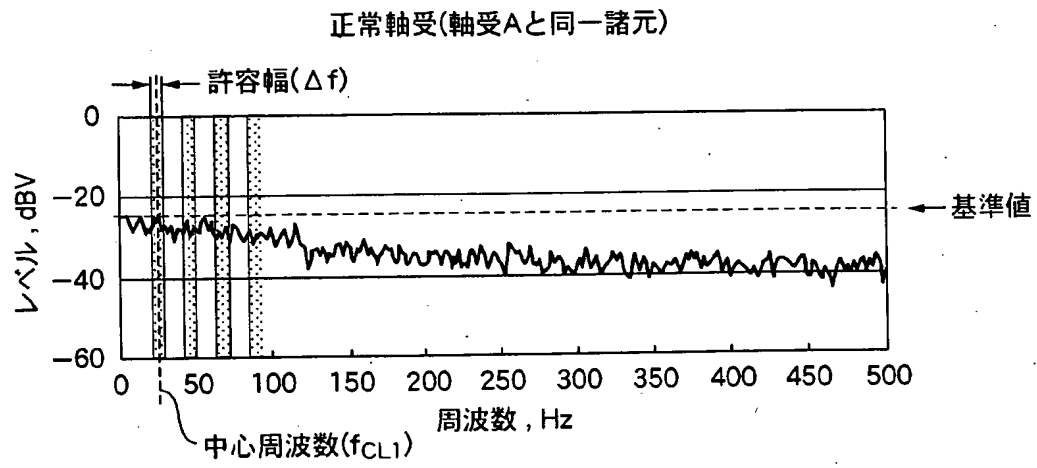
[図35]



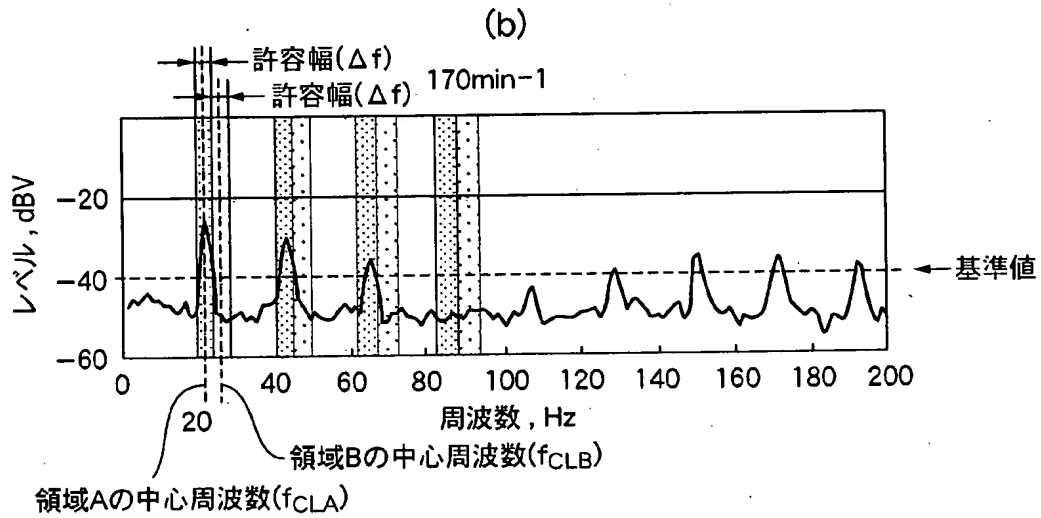
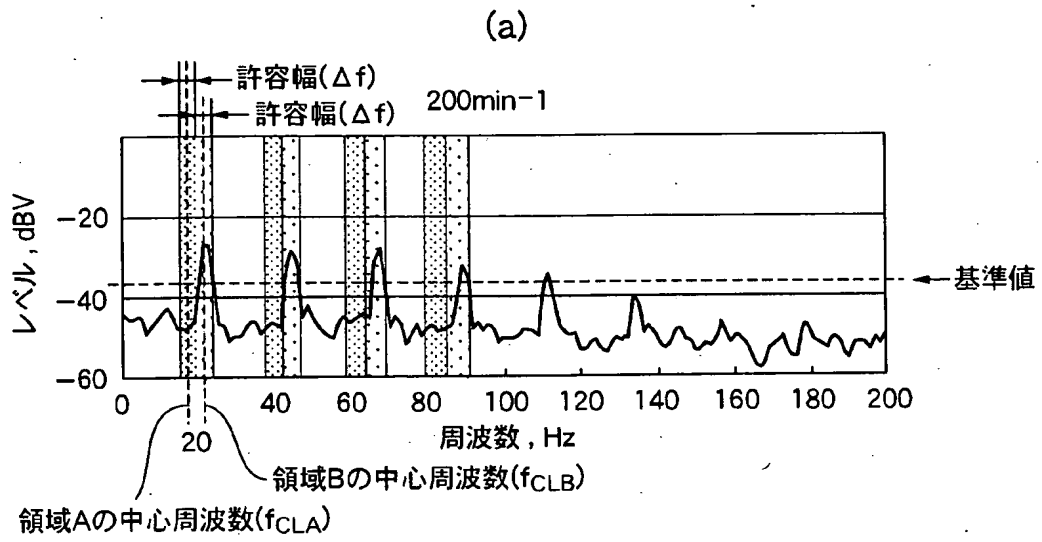
[図36]



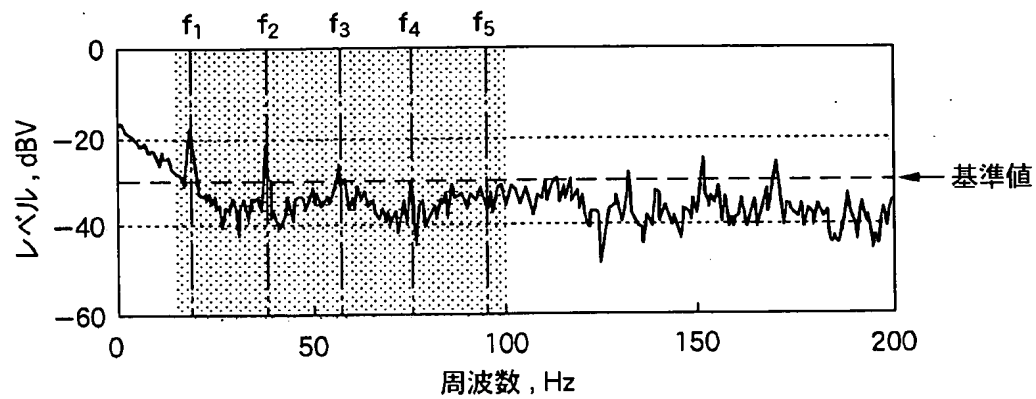
[図37]



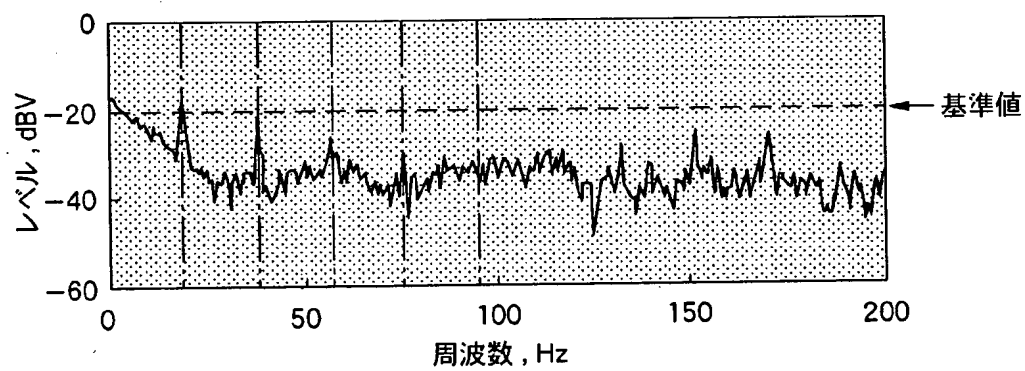
[図38]



[図39]



[図40]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/016845

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M19/00(2006.01), G01M13/04(2006.01), G01H17/00(2006.01), F16C19/52(2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01M19/00(2006.01), G01M13/04(2006.01), G01H17/00(2006.01), F16C19/52(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2004-184400 A (NSK Ltd.), 02 July, 2004 (02.07.04), Full text; all drawings & WO 2004/027370 A1	1,2 3-10 11-37
X Y A	JP 2004-93256 A (NSK Ltd.), 25 March, 2004 (25.03.04), Full text; all drawings & WO 2004/027370 A1	1,2 3-10 11-37
Y	JP 2004-150974 A (NIDEC Corp.), 27 May, 2004 (27.05.04), Full text; all drawings (Family: none)	3-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
13 December, 2005 (13.12.05)

Date of mailing of the international search report
27 December, 2005 (27.12.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/016845

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-202276 A (NSK Ltd.), 18 July, 2003 (18.07.03), Full text; all drawings & WO 2002/037067 A1	1-37
A	JP 2002-22617 A (Mitsubishi Electric Corp.), 23 January, 2002 (23.01.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-37
A	JP 9-113416 A (Nippon Steel Corp.), 02 May, 1997 (02.05.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-37
A	JP 9-500452 A (GENERAL ELECTRIC CO.), 14 January, 1997 (14.01.97), Full text; all drawings & WO 1995/030886 A1	13-16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/016845

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The invention of claims 1-2, the invention of claim 3, the invention of claims 4-10, the invention of claims 11-12, and 32, the invention of claims 13-16, and 33, and the invention of claims 17-31, and 34-37 have different "special technical features." Consequently, the inventions have no technical relationship including one or more of the same or corresponding technical features; therefore the inventions are not so linked as to form a single general inventive concept.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest
the

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee..
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01M19/00 (2006.01), G01M13/04 (2006.01), G01H17/00 (2006.01), F16C19/52 (2006.01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01M19/00 (2006.01), G01M13/04 (2006.01), G01H17/00 (2006.01), F16C19/52 (2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	JP 2004-184400 A (日本精工株式会社) 2004.07.02, 全文、全図 & WO 2004/027370 A1	1, 2 3-10 11-37
X Y A	JP 2004-93256 A (日本精工株式会社) 2004.03.25, 全文、全図 & WO 2004/027370 A1	1, 2 3-10 11-37
Y	JP 2004-150974 A (日本電産株式会社) 2004.05.27, 全文、全図 ファミリーなし	3-10

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

13. 12. 2005

国際調査報告の発送日

27. 12. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小野 忠悦

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

2J

8604

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2003-202276 A (日本精工株式会社) 2003.07.18, 全文、全図 & WO 2002/037067 A1	1-37
A	JP 2002-22617 A (三菱電機株式会社) 2002.01.23, 全文、全図 ファミリーなし	1-37
A	JP 9-113416 A (新日本製鐵株式会社) 1997.05.02, 全文、全図 ファミリーなし	1-37
A	JP 9-500452 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ) 1997.01.14, 全文、全図 & WO 1995/030886 A1	13-16

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-2に係る発明、請求の範囲3に係る発明、請求の範囲4-10に係る発明、請求の範囲11-12, 32に係る発明、請求の範囲13-16, 33に係る発明、請求の範囲17-31, 34-37に係る発明は、それぞれ異なる「特別な技術的特徴」を有するものである。よって、これらの発明は、一以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係にないから、単一の一般的発明概念を形成するように関連しているものとは認められない。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☒ 追加調査手数料の納付を伴う異議申立てがなかった。